means a change in coordinates from 0_1 and 0_2 to the center E.

For the longitudinal reflected wave and using the angle $\beta = \theta + \theta_1$ the stress components referred to the explosive charge are:

$$\sigma_{Rrp} = \sigma_{rrp} \cos^2\beta + \sigma_{\theta rp} \sin^2\beta - 2\tau_{r\theta rp} \sin\beta \cos\beta$$

$$\sigma_{Frp} = \sigma_{rrp} \sin^2\beta + \sigma_{\theta rp} \cos^2\beta + 2\tau_{r\theta rp} \sin\beta \cos\beta$$

$$\sigma_{Trp} = \sigma_{trp}$$

$$\tau_{RFrp} = (\sigma_{rrp} - \sigma_{\theta rp}) \sin\beta \cos\beta + \tau_{r\theta rp} (\cos^2\beta - \sin^2\beta)$$

$$\tau_{FTrp} = \tau_{TRtp} = 0$$

For the shear reflected wave converging in A the stresses are, using the angle $\gamma = \theta + \theta_2$

$$\sigma_{Rrs} = \sigma_{rrs} \cos^2\gamma + \sigma_{\theta rs} \sin^2\gamma - 2\tau_{r\theta rs} \sin\gamma \cos\gamma$$

$$\sigma_{Frs} = \sigma_{rrs} \sin^2\gamma + \sigma_{\theta rs} \cos^2\gamma + 2\tau_{r\theta rs} \sin\gamma \cos\gamma$$

$$\sigma_{Trs} = \sigma_{trs} = 0$$

$$\tau_{RFrs} = (\sigma_{rrs} - \sigma_{\theta rs}) \sin\gamma \cos\gamma + \tau_{r\theta rs} (\cos^2\gamma - \sin^2\gamma)$$

$$\tau_{FTrs} = \tau_{TRrs} = 0$$

It is now possible to synthesize the components of the stress field due to the three waves, considering their relative arrival times to the point A. The resulting stresses are then:

$$\Sigma\sigma_R = \sigma_{rip} + \sigma_{Rrp} + \sigma_{Rrs}$$

$$\Sigma\sigma_F = \sigma_{\theta ip} + \sigma_{Frp} + \sigma_{Frs}$$

$$\Sigma\sigma_T = \sigma_{tip} + \sigma_{trp} + \sigma_{trs}$$

$$\Sigma\tau_{RF} = \tau_{RFrp} + \tau_{RFrs}$$

$$\Sigma\tau_{FT} = \Sigma\tau_{TR} = 0$$

The principal stresses of that stress field are obtained from the summation just mentioned. Two of them exist in the plane (r, θ) and the third acts in the ϕ direction, and the respective magnitudes are:

$$\sigma_1 = \frac{\Sigma\sigma_R + \Sigma\sigma_F}{2} - \sqrt{\left(\frac{\Sigma\sigma_R - \Sigma\sigma_F}{2}\right)^2 + (\Sigma\tau_{RF})^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\Sigma\sigma_R + \Sigma\sigma_F}{2} + \sqrt{\left(\frac{\Sigma\sigma_R - \Sigma\sigma_F}{2}\right)^2 + (\Sigma\tau_{RF})^2}$$

$$\sigma_3 = \Sigma\sigma_T$$

The direction of the maximum principal stress is denoted by the angle α that it makes with the direction of r, and it is:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\Sigma\tau_{RF}}{\Sigma\sigma_F - \Sigma\sigma_R}$$

A computer program was written for this case and it is presented in the Appendix 2 — Program ROFF (Reflection in One Free Face).

A grid of points was established in the rock mass and the program gives the values of the three principal stresses in each point and at 30 different time increments. The orientation of these stresses is also available. Because of the axi-symmetry of the problem only half space was considered.

The failure criterium in terms of the maximum dynamic tensile strength of the rock considered to be 2×10^8 dyne/cm² in (3), was introduced at the end of the program.

As a result of this analysis, the plotting of the principal stresses ocurring in the plane (x, y) is presented in Fig. 6. Their values and orientation are given at the instant when the value of σ_2 (tension) exceeds the dynamic strength of the rock in tension. It is evident from the figure that the presumable directions of the cracks (perpendicular to the direction of the tensile stress) will be radial near the explosive charge and with the approach of the free face they are curved towards a direction parallel to the free face. Magnitude of the arrows is proportional to the value of computed stresses.

Results show that for the points situated at the right hand side of the principal stresses never exceed the strength of the material, so the limit of fracture extension can be deduced.

This conclusion is presented in Fig. 7, as well as the instants when the tensions exceed for the

TINTA

ANTI-CORROSIVA ESPECIAL

Para a pintura de:

DEPÓSITOS DE ÁGUA POTÁVEL E OUTROS
CALDEIRAS
MÁQUINAS
TURBINAS
ESTRUTURAS ABAIXO DOS PAVIMENTOS
ISOLAMENTOS DAS TUBAGENS
ESTRUTURAS METÁLICAS
MATERIAL CIRCULANTE
GUINDASTES
POSTES
PAVIMENTOS DE AÇO, FERRO, MADEIRA, TIJOLO, PEDRA E CIMENTO EXPOSTOS AO TEMPO, ETC.

GRANDE RESISTÊNCIA AO CALOR

REPRESENTANTE:

MENDES DE ALMEIDA

COMÉRCIO E INDÚSTRIA, S. A. R. L.

AV. 24 DE JULHO, 52 LISBOA-PORTUGAL TEL. 667710

SKF

O maior fabricante mundial de rolamentos oferece-lhe agora, também outros produtos, dos quais destacamos:

Acoplamentos «KOPPERS»
Ferramentas de roscar
Grupos cônicos
Mangas de esferas «STAR»
Massa lubrificante
Material têxtil
Pontos rotativos
Redutores velocidade «SINCRON»
Retentores especiais «V-RING»
Retentores para indústria «RUBER»
Rodas e rodízios
Rolamentos de esferas, agulhas e roletes
Rótulas lisas
Tubos para condução de líquidos corrosivos incluindo água salgada
Variadores «SINCRON»

apoiados como sempre numa ASSISTÊNCIA TÉCNICA PERFEITA

SOCIEDADE SKF LIMITADA

Praça da Alegria, 66-A — LISBOA
Telefones 36 23 01-2-3-4

R. Delfim Ferreira, 604 — PORTO
Telefones 69 20 54-5-6-7-8

first time the value of the strength in tension. The figure gives a clear idea of the transient

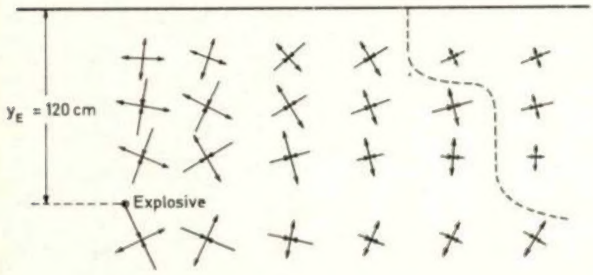


Fig. 6 — Magnitude and direction of the principal stresses when σ_2 firsts exceed the dynamic tensile strength of the rock (program ROFF).

extension of fractures produced by the three stress waves considered earlier.

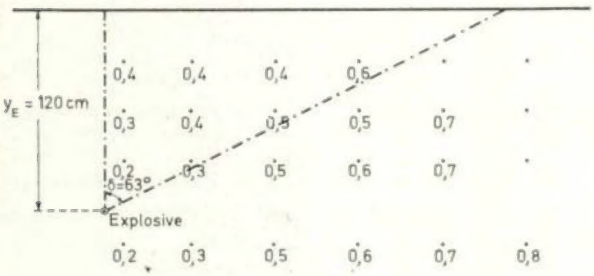


Fig. 7 — Time from the instant of detonation (in milliseconds) when the dynamic tensile strength of the rock is first exceeded (program ROFF)

The limits of fracture development and the crater boundary are well defined in Fig. 7. A simple calculation shows that for this example the angle of cratering is 63°, value of the order of magnitude of a large number of field results.

The most important conclusion is the availability of this program to perform studies of optimization, simulating the Livingston technique. Making changes in the explosive depth (the value of y_E) in order to determine new crater angles δ we can obtain the optimum depth of the same charge, which is the value that maximizes the volume of rock blasted. In fact, assuming the crater with conical shape its volume is given by:

$$V = \frac{1}{3} \pi \, tg^2 \delta . Y_E^3$$

and the variation of V with δ shows the existence of a maximum crater volume as well as a minimum, that corresponds to the critical depth of the same explosive charge.

4 — DETONATION OF A SPHERICAL CHARGE IN THE VICINITY OF TWO FREE FACES

The concept of plane wave reflection is now extended for the case of blasting with a spherical charge of explosive situated near two free faces of rock.

The situation, which is depicted in Fig. 8, includes the existance of five stress waves coming to any point of the rock.

Three of them have already been considered (IP, RP and RS) and the two others come from the second free face (the plane $x = 0$) which reflects one longitudinal wave RP3 and one shear wave RS4.

Multiple reflections are neglected in this study.

$$r_3 = A O_3 \qquad r_{s4} = O_4 y_2$$
$$r_4 = A O_4 \qquad r_{is4} = E y_2$$

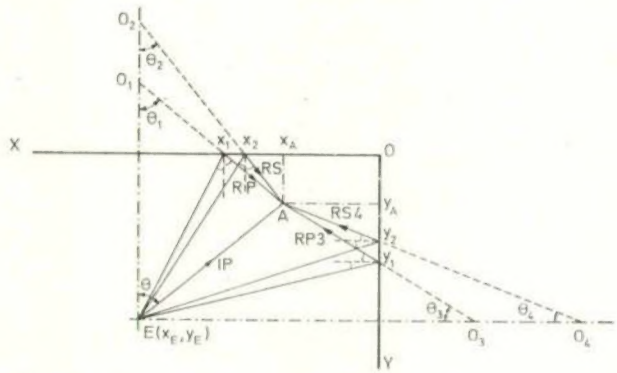


Fig. 8 — The five additive waves considered in the case of detonation near two free faces (program BIREFL)

Similar formulae are applicable for the calculation of stress induced by the second reflected waves, but it is necessary to deduce their correspondent trigonometric parameters.

For RP3, the point of incidence is given by $(0,y_1)$ where

$$y_1 = \frac{x_A y_E + x_E y_A}{x_A + x_E}$$

and the angle θ_3 by:

$$\theta_3 = \text{arc tg} \frac{y_E - y_1}{x_E}$$

The arrival time of this wave at A, such that $A\,0_3 = r_3$, is:

$$T_{rp3} = T - \frac{r_3}{C_P}$$

where T still represent the time from the instant of the detonation and r_3 has the value

$$r_3 = \overline{Ay_1} \frac{y_E - y_A}{y_1 - y_A}$$

After the stress calculations, that are referred to the point 0_3, is necessary to change coordinates from 0_3 to E.

In this case, the same transforming expressions employed for RP are now used, only changing the angle $\beta = \theta + \theta_1$ for

$$\beta_3 = (90^\circ - \theta) + \theta_3$$

After the calculations of stresses induced by this wave, the terms in RP3 are summed to the previous stresses to form new expressions of $\Sigma\sigma_R$, $\Sigma\sigma_F$, $\Sigma\sigma_T$ and $\Sigma\tau_{RF}$.

The second reflected shear wave, which is referred as RS4, incides the plane $x = 0$ in the point $(0,y_2)$ and is reflected towards A with an angle θ_4 to the normal to that plane.

In the same way of RS a bracketing method is employed to obtain y_2 and θ_4, using the relations

$$\text{tg}\ \theta_4 = \frac{y_2 - y_A}{x_A}$$

$$\text{tg}\ \alpha_4 = \frac{y_E - y_2}{x_E}$$

$$\sin \alpha_4 = \frac{C_P}{C_S} \sin \theta_4$$

The corresponding arrival time is now

$$T_{rs4} = T - \frac{r_{is4}}{C_P} - \frac{r_4 - r_{s4}}{C_S}$$

where r_{is4}, r_4 and r_{s4} are distances represented in Fig. 8.

The stresses induced by RS4 are calculated by expressions equivalent to the ones used for RS and then the transformation of coordinates from 0_4 to E is established by means of an angle

$$\gamma_4 = (90^\circ - \theta) + \theta_4 .$$

Finally the composition of all stress, considered at the same instant is processed by means of the relationships

$$\Sigma\sigma_R = \sigma_{rip} + \sigma_{Rrp} + \sigma_{Rrs} + \sigma_{Rrp3} + \sigma_{Rrs4}$$

$$\Sigma\sigma_F = \sigma_{\theta ip} + \sigma_{Frp} + \sigma_{Frs} + \sigma_{Frp3} + \sigma_{Frs4}$$

$$\Sigma\sigma_T = \sigma_{tip} + \sigma_{trp} + \sigma_{trs} + \sigma_{trp3} + \sigma_{trs4}$$

$$\Sigma\tau_{RF} = \tau_{RFrp} + \tau_{RFrs} + \tau_{RFrp3} + \tau_{RFrs4}$$

$$\Sigma\tau_{FT} = \Sigma\tau_{TR} = 0$$

With these new values, the principal stresses and their orientations are obtained using the previous expressions.

A computer program was written for this case (program BIREFL) and it is presented Appendix 3.

The interpretation of the results, expressed as the principal stresses over a grid of points and considering 30 time increments, show the existence of higher tensile stresses at the same points of program ROFF.

There is a very significant increase of distance from the shot point where the value of σ_2 exceeds the dynamic tensile strength of the rock.

The influence of the second free face changes completely the stress situation and the directions of the principal stresses. So, the predicted crack orientations are different from the ones deduced for the simple cratering case.

For this purpose, it is presented in Fig. 9 the principal stresses in the plane (x,y) at the instants when the value of σ_2 first exceeds the dynamic tensile strength of the rock, in each point of the grid considered in the computer program (see Appendix 3-program BIREFL).

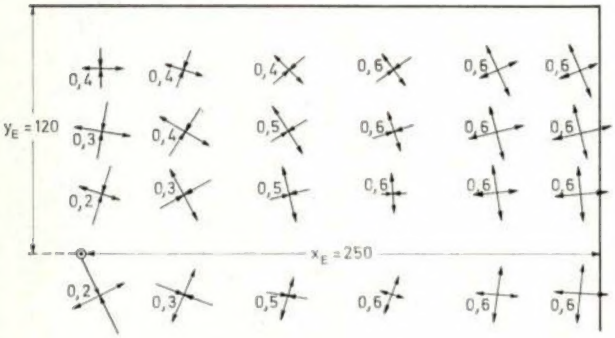


Fig. 9 — Detonation of a spherical charge in the vicinity of two free faces Stress distribution when σ_2 first exceeds tensile strength (program BIREFL).

A comparison between the results plotted in Fig. 6 and Fig. 9 both referring to the stresses at the same points shows that the influence of boundaries is definitive. At the rock corner, all the principal stresses are tension, and in this zone are located the highest values.

Far from the corner and from the free faces, the stress distribution is similar though note identical in magnitude and orientation to the case of cratering.

Information concerning the time (in milliseconds) from the instant of detonation when the dynamic strength of the rock is first exceeded, is also available. Numbers over the points represent that time of presumable cracking.

5 — DETONATION OF A CYLINDRICAL CHARGE IN THE VICINITY OF TWO FREE FACES (BENCH BLASTING)

The computer model for the case of bench blasting was established in terms of the previous programs and is based in the principle of superposition of effects from spherical charges in order to reproduce the cylindrical charge.

An extension of the double reflection case presented in the last chapter is conducted for a linear series of spherical charges situated parallell to the free face $x = 0$ (Fig. 10).

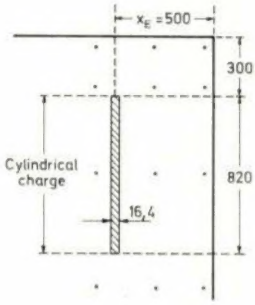


Fig. 10 — Diagram of the bench blasting pattern for the calculation of stresses (program CYLIND).

The burden of the column charge is simply the coordinate x_E. The coordinate y_E is variable, increasing in increments of one diameter charge for the case of collar priming and decreasing the same amount for the bottom priming.

A more complex formulation is necessary to make the composition of all the waves at the same exact instant and this is obtained by a global summation in order to get the values of the stress components. If the column charge is assumed to be composed by N spherical charges, those values are

$$\Sigma \sigma_{RC} = \sum_{i=1}^{N} (\Sigma \sigma_R)$$

$$\Sigma \sigma_{FC} = \sum_{i=1}^{N} (\Sigma \sigma_F)$$

$$\Sigma \sigma_{TC} = \sum_{i=1}^{N} (\Sigma \sigma_T)$$

$$\Sigma \tau_{RFC} = \sum_{i=1}^{N} (\Sigma \tau_{RF})$$

where $\Sigma\sigma_R$, $\Sigma\sigma_F$, $\Sigma\sigma_T$, and $\Sigma\tau_{RF}$ have the expressions given in section 4.

The determination of the principal stress after these, is carried out in the usual form.

Once the program is established, various situations can be simulated, the only disadvantage is the relatively long time that it takes to run (in the CDC 6600 about 10 seconds for the determination of the principal stresses along 30 time increments, per point of the grid).

Some of these situations are :

a) Variation in the geometric parameters of the charge (radius and length)

b) Variation in the parameters of the blasting pattern (burden, height of the bench, amount of sub-grading, height of the stemming zone, etc.)

c) Possibility of simulating situations ofb ottom priming or collar priming of the explosive charge.

One of these situations is presented in Fig. 11 and corresponds to case of bottom priming with a burden of 500 cm. Principal stresses are referred to the instant they first exceed the dynamic strength of the material. Also the corresponding time in milliseconds is noted at the considered points.

It can be seen that for that charge and the burden of 500 cm all the volume of rock between the hole and the free face will be blasted, and also a small crater is formed at the top.

To study the contrast between bottom priming and collar priming, all the other parameters being held constant, the program was slightly modified.

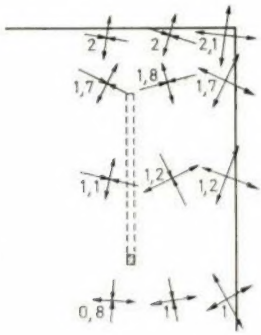


Fig. 11 — Bench blasting with bottom priming — stress distributuion when σ_2 first exceeds tensiie strength (program CYLIND).

The corresponding stress situation at the presumable moment of fracture initiation is described in Fig. 12. In this case, a larger crater at the top is predicted.

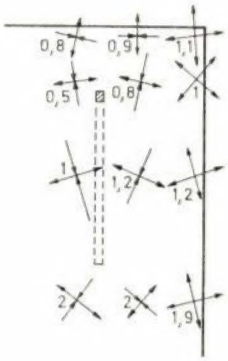


Fig. 12 — Bench blasting with collar priming — stress distribution when σ_2 first exceeds tensile strength (program CYLIND).

Another situation that was studied is the case of bench blasting with collar priming but using a short columm charge, in a similar location and also without constraint of the free face paralell to the explosive charge. In this case the length of the charge was 213.2 cm while in the of Fig. 12 it is 820 cm, all the other parameters remain constant.

The results, that are depicted in Fig. 13 show that a different stress distribution has taken place and that the magnitude of calculation within the rock mass.

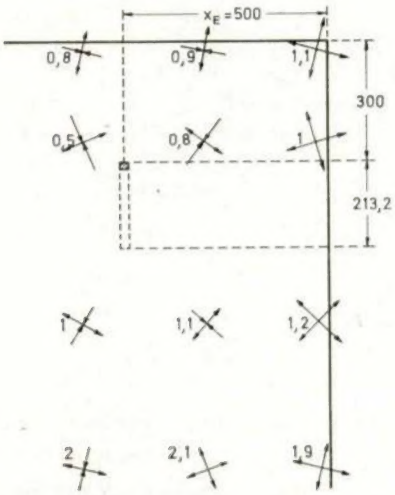


Fig. 13 – Bench blasting with collar priming for a short column charge. Stress distribution when σ_2 first exceeds the tensile strength (program CYLIND).

The numbers plotted over the points of stress determination represent, in Figs. 11, 12 and 13, the instants (in milliseconds) when the rock resistance is first overcame at those points.

6 – CONCLUSIONS

The dynamic stress analysis for a blasting situation with one free face provided a good representation of the stress distribution and gave reasonable agreement with rock failure mechanisms through the application of the maximum dynamic tensile strength theory [2], [3].

This analysis was extended to the reflection with two free faces and further was applied in the problem of a linear series of spherical charges in order to simulate a cylindrical charge.

The computer model for bench blasting was established and the results obtained for a few number of different situations show reasonable accordance to known field strain mechanisms.

Some of the aspects that can be easily studied by this computer model are:

a) Optimization of the geometric parameters in bench blasting patterns.

b) Comparison between various methods of priming, in terms of the corresponding stress distributions induced in the rock.

c) Optimization of the explosive parameters, not only charge radius an length but determination by cut and try method of the most convenient values for density and detonation velocity of the explosive to be used.

d) Theoretical studies of some rock blasting aspects such as the optimum amount of subgrading, the optimum heihgt of stemming, etc.

e) Possibility of analyzing new blasting techniques before any experimental work and decide which are the most convenient patterns for a particular situation, based on the prediction of the stress distribution induced in the rock.

f) Extension of the program CYLIND to multiple hole bench blasting.

However, it must be emphasized that the results only have relative value because a number of approaches were established to the achievement of the computer model. The ideal situation deals with elastic homogeneous, continuous and isotropic rocks, plane wave reflection laws, perfectly plane boundaries of the rock masses, and all the relationships are valid only beyond the crushed zone of rock that usualy surrounds the borehole after the explosion. It must be realized that for an actual situation the deviations from this bheavior can change completely the stress distribution and the resulting breakage of the rock.

However, the application of these computer programs can be considered successful if clear trends of the blasting mechanism could have been determined.

Bench blasting, being much more relevant than cratering in rock breakage by explosives, justifies other types of studies of this nature, in order

to rationalize more this important application of industrial explosives.

BIBLIOGRAFIA

1 — ITO, I. and SASSA, K. (1961) — On the Dynamic Stresses within Rock Caused by an Explosion. Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan. Vol. 77, n.° 882, Dec. 1961.

2 — ITO, I. and SASSA, K. (1963) — Dynamic Stresses Induce within Rock in case of Blasting with One Free Face. Kyoto University. Faculty of Engineering Memoirs. Vol. 25, n.° 4. Japan.

3 — SASSA, K.; LAROCQUE, G. E.; COATES, D. F. and DARLING, J. A. (1966) — The Analysis of Stress for the Prediction of Crater Boundaries. Research Report 192. Mines Branch. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa. Canada.

4 — STARFIELD, A. M. (1967) — Strain Wave Theory in Rock Blasting. Eighth Symposium on Rock Mechanics. University of Minnesota.

5 — STARFIELD, A. M. and PUGLIESE, J. M. (1968) — — Compression Waves Generated in Rock by Cylindrical Explosive Charges : a comparison between a Computer Model and Field Measurements. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol. 5, n.° 1, January 1968.

6 — FOGELSON, D. E.; DUVALL, W. I. and ATCHISON, T. C. (1959) — Strain Energy in Explosion--Generated Strain Pulses. U. S. Bureau of Mines Report of Investigations 5514.

7 — NICHOLSON, H. R. (1962) — Coupling Explosive Energy to Rock. Geophysics. Vol. 27, n.° 3, June 1962.

8 — RICKER, N. (1963) — The Form and Laws of Propagation of Seismic Wavelets. Geophysics. Vol. 18, n.° 1, January 1953.

9 — DALLY, J. W. and RILLEY, W. F. (1967) — Stress Wave Propagation in a Half Plane due to a Transient Point Load. Developments in Theoretical and Applied Mechanics. Vol. 3. Pergamon.

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful to Professor C. Fairhurst, University of Minnesota, for being sponsor of the computer programs presented in the paper, and also to Professor Richard L. Ash, from the University of Missouri at Rolla, for his valued advice and continuous encouragement.

APPENDIX 1

PROGRAM NORE

Computer Program for the Calculation of the Stresses Induced within an Infinite Mass of Rock by the Detonation of a Spherical Charge of Explosive

```
STRESS,T4,21306030,GAMA
RUN(S)
LGO.
-
      PROGRAM NORE(INPUT,OUTPUT)
      DIMENSION UW(30),VW(30)
C   SYSTEM OF UNITS = CM,G,SEC
C   VALUES FOR THE CONSTANTS
      CP=6.4E+05
      CS=3.42E+05
      AL=6.28E+11
      AM=4.15E+11
      A0=40.3
      R0=3.36E+05
      EN=1.4
      EM=1.4
      EH=1.
      EX=1.
C   WAVE SHAPES FOR DISPLACEMENT AND PARTICLE VELOCITY
      READ 11,(UW(K),K=1,14),(VW(K),K=1,14)
   11 FORMAT(14F5.2/14F5.2)
      DO 18 KA=15,30
      UW(KA)=0.
      VW(KA)=0.
   18 CONTINUE
C   COORDINATES OF THE EXPLOSIVE CHARGE
      XE=0.
      YE=300.
      RC=0.2
      PRINT 3
    3 FORMAT(54H TIME   DISTANCE   SIGMA 1   SIGMA 2   SIGMA 3   ALPHA/)
      DO 100 I=1,5
      READ 12,XA,YA
   12 FORMAT(2F6.1)
      R=YA-YE
      DO 150 K=1,30
      TT=K
      T=TT*(1.E-04)
      TIP=T-R/CP
      IF (TIP-1.E-04) 30,31,31
   30 SRIP=0.
      STHIP=0.
      GO TO 34
   31 L=TIP*1E+04
      UP=A0/(R**1.4)
      DUPDR=-1.4*A0/(R**2.4)
      URTIP=A0/(R**EN)*UW(L)
      VRTIP=B0/(R**EM)*VW(L)
      SRIP=(AL+2.*AM)*(DUPDR*UW(L)-VRTIP/CP)+2.*AL*URTIP/R
      STHIP=AL*(DUPDR*UW(L)-VRTIP/CP)+2.*(AL+AM)*URTIP/R
   34 STIP=STHIP
      TATHIP=0.
      TARTIP=0.
      TARTHP=0.
C   PRINCIPAL STRESSES
      S1=0.5*(SRIP+STHIP)-0.5*(SRIP-STHIP)
      S2=0.5*(SRIP+STHIP)+0.5*(SRIP-STHIP)
      S3=STIP
      TS=0.
C     ALPHA=0.5*ATAN(TS)
      ALPHA=0.
      PRINT 33,T,R,S1,S2,S3,ALPHA
   33 FORMAT(2X,F7.1,F6.1,3F11.3,F7.3)
  150 CONTINUE
  100 CONTINUE
      END
```

Parte II

PROGRAM ENERGY

Computer Program for the Calculation of the Strain Energy Radiated after the Detonation of a Spherical Charge of Explosive within an Infinite Mass of Rock

```
ENERGY,T4,21306030,GAMA
RUN(S)
LGO.

      PROGRAM ENERGY(INPUT,OUTPUT)
      DIMENSION UW(30),VW(30)
      R0=3.8
      A0=40.3
      B0=3.36E+05
      CP=6.4E+05
      READ 11,(UW(K),K=1,14),(VW(K),K=1,14)
   11 FORMAT(14F5.2/14F5.2)
      DO 18 KA=15,30
      UW(KA)=0.
      VW(KA)=0.
   18 CONTINUE
      PRINT 5
    5 FORMAT(41H DISTANCE  TIME  RADIATED  STRAIN  ENERGY/
     122X,13HWR            WT/)
      DO 100 I=1,5
      R=150+10*I
      DUPDR=-1.4*A0/(R**2.4)
      DO 150 L=1,30
      AREA=0.
      ER2L=0.
      DO 22 N=1,L
      VRTIP=B0/(R**1.4)*VW(N)
      ER2R=(DUPDR*UW(N)-VRTIP/CP)*(DUPDR*UW(N)-VRTIP/CP)
C   NUMERICAL INTEGRATION USING THE TRAPEZOIDAL RULE
      AREA=AREA+0.5*1.*(ER2L+ER2R)
      ER2L=ER2R
   22 CONTINUE
C   STRAIN ENERGY PER UNIT AREA
      WR=0.5*R0*CP*CP*CP*AREA
C   TOTAL STRAIN ENERGY RADIATED
      WT=4.*3.14*R*R*WR
      PRINT 7,R,L,WR,WT
    7 FORMAT(F8.1,I6,2E12.3
  150 CONTINUE
  100 CONTINUE
      END
```

APPENDIX 2

PROGRAM ROFF

Computer Program for the Calculation of the Stresses Induced in Rock by the Detonation of a Spherical Charge of Explosive in the Vicicity of One Free Face (Cratering)

```
STRESS,T20,21306030,GAMA
RUN(S)
LGO.
-
      PROGRAM ROFF(INPUT,OUTPUT)
      DIMENSION UW(30),VW(30)
      ERR=0.01
C   SYSTEM OF UNITS = CM,G,SEC
C   VALUES FOR THE CONSTANTS
      CP=6.4E+05
      CS=3.42E+05
      RS=CP/CS
      AL=6.28E+11
      AM=4.15E+11
      A0=40.3
      B0=3.36E+05
      EN=1.4
      EM=1.4
      EH=1.
      EX=1.
C   WAVE SHAPES FOR DISPLACEMENT AND PARTICLE VELOCITY
      READ 11,(UW(K),K=1,14),(VW(K),K=1,14)
   11 FORMAT(14F5.2/14F5.2)
      DO 18 KA=15,30
      UW(KA)=0.
      VW(KA)=0.
   18 CONTINUE
C   COORDINATES OF THE EXPLOSIVE CHARGE
      YE=120.
      XE=250.
      RC=0.2
      PRINT 3
    3 FORMAT(52H  TIME   POINT   SIGMA 1   SIGMA 2   SIGMA 3   ALPHA/)
      DO 100 I=1,24
      READ 12,XA,YA
   12 FORMAT(2F6.1)
      R=SQRT((YE-YA)*(YE-YA)+(XE-XA)*(XE-XA))
      R=ABS(R)
      XY=(XE-XA)/(YE-YA)
      THET=ATAN(XY)
      X1=(YA*XE+YE*XA)/(YE+YA)
      XY1=(XE-X1)/YE
      THET1=ATAN(XY1)
      R1=SQRT((XA-X1)*(XA-X1)+YA*YA)*(XE-XA)/(XA-X1)
      R1=ABS(R1)
      XN=X1
      XP=XA
    2 X2=0.5*(XN+XP)
      C=(XE-X2)*(XE-X2)*(YA*YA+(X2-XA)*(X2-XA))-
     1 RS*RS*(X2-XA)*(X2-XA)*(YE*YE+(XE-X2)*(XE-X2))
      IF(ABS(C)-ERR)6,6,7
    7 IF(C-0.) 4,6,5
    4 XN=X2
      GO TO 2
    5 XP=X2
      GO TO 2
    6 XY2=(X2-XA)/YA
      THET2=ATAN(XY2)
      RIS=SQRT((XE-X2)*(XE-X2)+YE*YE)
      RIS=ABS(RIS)

      RS=SQRT((XA-X2)*(XA-X2)+YA*YA)*(XE-X2)/(X2-XA)
      RS=ABS(RS)
      R2=RS+SQRT((XA-X2)*(XA-X2)+YA*YA)
      R2=ABS(R2)
      DO 150 K=1,30
      TT=K
      T=TT*(1.E-04)
      TIP=T-R/CP
      IF (TIP-1.E-04) 30,31,31
   30 SRIP=0.
      STHIP=0.
      GO TO 34
   31 L=TIP*1E+04
      UP=A0/(R**1.4)
      DUPDR=-1.4*A0/(R**2.4)
      URTIP=A0/(R**EN)*UW(L)
      VRTIP=B0/(R**EM)*VW(L)
      SRIP=(AL+2.*AM)*(DUPDR*UW(L)-VRTIP/CP)+2.*AL*URTIP/R
      STHIP=AL*(DUPDR*UW(L)-VRTIP/CP)+2.*(AL+AM)*URTIP/R
   34 STIP=STHIP
      TATHIP=0.
      TARTIP=0.
      TARTHP=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE PASSAGE OF THE LONGITUDINAL REFLECTED WAVE
      TRP=T-R1/CP
      IF(TRP-1.E-04) 40,41,41
   40 SRRP=0.
      STHRP=0.
      TATHRP=0.
      GO TO 44
   41 J=TRP*(1E+04)
      UW1=UW(J)
      VW1=VW(J)
      PST=SIN(THET1)/RS
      AJ=ASIN(PST)
      CIX1=SIN(2.*THET1)*SIN(2.*AJ)-RS*RS*COS(2.*AJ)*COS(2.*AJ)
      RAI1=SIN(2.*THET1)*SIN(2.*AJ)+RS*RS*COS(2.*AJ)*COS(2.*AJ)
      ARR=CIX1/RAI1
      U1=ARR*A0/(W**EN)*UW1
      DUP1DR=ARR*(-1.4*A0/(R1**2.4))
      V1=ARR*B0/(R**EM)*VW1
      SRRP=(AL+2.*AM)*(UW1*DUP1DR-V1/CP)+2.*AL/R1*U1
      STHRP=AL*(UW1*DUP1DR-V1/CP)+2.*(AL+AM)/R1*U1
      URR1=A0/(R1**1.4)
      DARRDT=((RAI1-CIX1)*2.*COS(2.*THET1)*SIN(2.*AJ))/(RAI1*RAI1)
      DUP1DT=URR1*(DARRDT)
      TATHRP=A0/R*DUP1DT*UW1
   44 STRP=STHRP
      TARTRP=0.
      TATRP=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE PASSAGE OF THE REFLECTED SHEAR WAVE
      TRS=T-R1/CP-(R2-R1)/CS
      IF(TRS-1.E-04) 50,51,51
   50 SRRS=0.
      STHRS=0.
      STRS=0.
      TRTHRS=0.
      GO TO 55
   51 M=TRS*(1E+04)
      SP2=SIN(THET2)/RS
```

APPENDIX 3

PROGRAM BIREFL

Computer Program for the Calculation of the Stresses Induced in Rock by the Detonation of a Spherical Charge of Explosive in the Vicinity of the Two Free Faces

```
      A1=A*INISP2)
      C1V2=2.*RS*SIN(2.*A1)*COS(2.*THFT2)
      RA1=SIN(2.*A1)*SIN(2.*THFT2)-COS(2.*THFT2)*COS(2.*THFT2)
      ARS=C1N2/RA12
      DARSDT=(-SA12*2.*RS*SIN(2.*A1)*2.*SIN(2.*THFT2)-
     1 C1V2*(SIN(2.*A1)*0.*COS(2.*THFT2)+
     2 RS*RS*4.*COS(2.*THFT2)*SIN(2.*THFT2))/(RA12*SA12)
      UTHR=ARS*RO/(R(**EY)*(R/RO)
      VTHR=ARS*RO/(R(**EY)*(R/RO)
      UTH=UTHR*UN(M)
      VTH=VTHR*VV(M)
      DUTHDT=ARS(R)/**EY*(RS*RO)*DARSDT
      DUTHDR=-UTH/RS
C   STRESSES
      SRR=RL* (UTH)*RS*SIN THDT+DUTHDT*SA/(RA-A))
      STRR=UN(M)*(ALA+2.*RS(2*RO*THFT*AL*(THDT*SA/(R2-RS))
      STRS=UN(M)*(ALA*P.*A*(2*RO*UTHDT*SA/(R*RA)-ALA*RS*DUTHDT)
      TATHDR=AR*(DUTHDR*UT(M)-VTHR*VV(M)/(R*RO))/(R2)
   88 TATHRS=0.
      TARRS=0.
C   CHANGE IN COORDINATES FROM D1 TO E
      TATHFT=-THFT
      RSDRP=SRR*COS(R)+RCP(R)*THDR*SIN(R)*SIN(R)-
     1 2.*SIN(R)*COS(R)*TATHDR
      RSFRP=SRR*SIN(R)*SIN(R)+RCP(R)*THDR*COS(R)*
     1 2.*SIN(R)*COS(R)*TATHDR
      TATDR=STHS
      TTDFRP=SIN(R)*RCP(R)*SIN(R)*THDR+SIN(R)*COS(R)*
     1 SIN(R)*SIN(R)*TATHFR
      TTATDR=0.
      TTTDR=0.
C   CHANGE TO CARTESIAN COORDINATES
      TATHFT=-THFT
      TRDRP=-SRR*COS(R)+RCP(R)*THDR*SIN(R)*SIN(R)-
     1 2.*TATHDR*SIN(R)*COS(R)
      TTFDR=SRR*SIN(R)*SIN(R)+RCP(R)*THDR*COS(R)*COS(R)+
     1 2.*TATHDR*SIN(R)*COS(R)
      TTTDR=STHS
      TTATDR=-SRR*SIN(R)*COS(R)+RCP(R)*THDR*SIN(R)*SIN(R)-
     1 SIN(R)*SIN(R)
      TTTTDR=0.
      TTTTDR=0.
C   SUMMATION OF ALL STRESSES
      SURRP=SURRP+TRDRP
      SUTRP=SUTRP+TTFDRP+TTRDP
      SUTRDR=SUTRDR+TTDRP
      SUTATDR=SUTATDR+TTATDR
      SUTTTDR=0.
C   CALCULATION OF THE PRINCIPAL STRESSES
      SIG1=(SURRP+SUTRP)/2.+SQRT(.5*(SURRP-SUTRP)**2+.5*(SURRP-
     1 SUTRP)**2+SUTRDR**2)
      SIG2=(SURRP+SUTRP)/2.-SQRT(.5*(SURRP-SUTRP)**2+.5* (SURRP-
     1 SUTRP)**2+SUTRDR**2)
      SIG3=SUTTTDR
      IF(SIG1.GT.SIG2) GO TO 42
   41 IF(SIG2.GT.SIG3) GO TO 43
   42 WRITE(6,*)SUTRDR/(SIG1-SIG2)
      ALPHA=ATAN(SUTRDR/(SIG1-SIG2))
      ALPHA=ALPHA*180/PI
      GO TO 47
   43 ALPHA=0.
   45 CONTINUE
      PRINT*2,I,J,S1,S2,S3,ALPHA
   50 FORMAT(1X,2I3,4(1X,E13.4,F5.2))
C   APPLICATION OF THE CRITERION OF FAILURE
      IF(S1-S3.GT.(S2-S3)) GO TO 71
   71 PRINT 72,I,XA,YA
   72 FORMAT(1H FRACTURE AT TIME ,F7.1,1H  AT POINT XA=,1PE6.1,3HYA=,
     1 1PE6.1)
  100 CONTINUE
  101 CONTINUE
      END
```

```
STRESS,TAO,CM1,CM2,CM3,CM4,GAMA
RUN(1)
LOG.

      PROGRAM BIREFL(INPUT,OUTPUT)
      DIMENSION UN(37),VV(37)
      PI=4.*1
C   SYSTEM OF UNITS = CM,G,SEC
C   VALUES FOR THE CONSTANTS
      CP=6.4E+05
      CS=3.42E+05
      RS=CP/CS
      AL=6.25E+11
      A=4.1E+11
      AO=4.3
      RO=3.42E+05
      RN=1.4
      TM=1.4
      TH=1.
      TK=1.
C   WAVE SHAPE FOR DISPLACEMENT AND PARTICLE VELOCITY
      READ 11,(UN(K),K=1,36),(VV(K),K=1,36)
   11 FORMAT(16F5.2/16F5.2)
      DO 18 KA=19,37
      UN(KA)=0.
      VV(KA)=0.
   18 CONTINUE
      COORDINATES OF THE EXPLOSIVE CHARGE
      YE=120.
      YE=270.
      RC=0.5
      PRINT 3
    3 FORMAT(5X  TIME   POINT   SIGMA 1   SIGMA 2   SIGMA 3   ALPHA)
      DO 100 I=1,24
      READ 12,XA,YA
   12 FORMAT(2F5.1)
C   DIRECT LONGITUDINAL WAVE
      RADDRT=SQRT((XE-XA)**2+(YE-YA)**2+(ZE-ZA)**2)
      RADDR(I)
      XX=(XE-XA)/RADDR
      THFT=ATAN(XX)
C   REFLECTED LONGITUDINAL WAVE FROM FIRST REFLECTION
      XI=(XE-XA)/2
      YI=(YE-YA)/2
      THFT=ATAN(XX)
      RI=SQRT((XI-XA)**2+(YI-YA)**2+(ZI-ZA)**2)
      RI=RADDR(I)
C   REFLECTED WAVE FROM THE FIRST REFLECTION
      XN=XI
      YN=YI
      IF(YN.GT.0.) GO TO 1
      YN=-YN
      IF(RC.GT.0.AND.(YN-YC).GT.(YC-YE)) GO TO 2
      IF(XN.GT.0.) GO TO 3
    4 XN=XI
      GO TO 5
    5 YN=YI
      GO TO 2
    6 XN=XI
      GO TO 2
      THFT2=ATAN(XX)
      RI=SQRT(XX**2+1.)
      RA=SQRT(XN**2+YN**2)
      RS=RA/RI
      RSA=RS*RI
      RSA=RA/RI
      DO 100 K=1,N
      TT=0.
      TATH=0.
      TTH=0.
      DO 101 K=1,N
   101 CONTINUE
      TATHDR=0.
      DO 70 K=1,N
   71 J=T(K)*(T(K)
      IF(J.GT.0) GO TO 24
      RSDRP=0.
      RSFRP=0.
      TATHDR=0.
      VRT(K)=RCP(K)*SIN(K)
      TTDFRP=SIN(K)*SIN(K)*RCP(K)*SIN(K)*SIN(K)+SIN(K)*SIN(K)
      TTTDR=SIN(K)*SIN(K)*RCP(K)*SIN(K)*SIN(K)+SIN(K)*SIN(K)
   24 TTDRTHDR
      TATDRDR=0.
      TATTDR=0.
      TATTHDR=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE PASSAGE OF THE LONGITUDINAL REFLECTED WAVE
      THFT=ATAN(XX)
      IF(THFT.GT.0.AND.THFT.LT.90.0)
   47 RSDRP=0.
      RSFRP=0.
      TATHDR=0.
      GO TO 44
   41 J=TRP*(K-24)
```

```
      UW1=UW(J)
      VW1=VW(J)
      PST=SIN(THET1)/PS
      AJ=ASIN(PST)
      CIM1=SIN(2.*THET1)*SIN(2.*AJ)-PS*PS*COS(2.*AJ)*COS(2.*AJ)
      BAI1=SIN(2.*THET1)*SIN(2.*AJ)+PS*PS*COS(2.*AJ)*COS(2.*AJ)
      ARP=CIM1/BAI1
      U1=ARP*A0/(R**EN)*UW1
      DUP1DR=ARP*(-1.4*A0/(R1**2.4))
      V1=ARP*B0/(R**EM)*VW1
      SRRP=(AL+2.*AM)*(UW1*DUP1DR-V1/CP)+2.*AL/R1*U1
      STHRP=AL*(UW1*DUP1DR-V1/CP)+2.*(AL+AM)/R1*U1
      UPR1=A0/(R1**1.4)
      DARPDT=(BAI1-CIM1*2.*COS(2.*THET1)*SIN(2.*AJ))/(BAI1*BAI1)
      DUP1DT=UPR1*(DARPDT)
      TATHRP=AM/R*DUP1DT*UW1
   44 STRRP=STHRP
      TARTRP=0.
      TATRP=0.
C   CHANGE IN COORDINATES FROM D1 TO F
      B=THET-THET1
      SSRRP=SRRP*COS(B)*COS(B)+STHRP*SIN(B)*SIN(B)-
     1 2.*SIN(B)*COS(B)*TATHRP
      SSFRP=SRRP*SIN(B)*SIN(B)+STHRP*COS(B)*COS(B)+
     12.*SIN(B)*COS(B)*TATHRP
      SSTRP=STRP
      TTRFRP=(SIN(B)*COS(B)*(SRRP-STHRP)+(COS(B)*COS(B)-
     1 SIN(B)*SIN(B))*TATHRP
      TTETRP=0.
      TTTRRP=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE PASSAGE OF THE REFLECTED SHEAR WAVE
      TRD=T-R(5/CP-(R2-R5)/CS
      IF(TRD-1.E-04) 50,51,51
   50 SRRS=0.
      STHRS=0.
      STRS=0.
      TRTHRS=0.
      GO TO 55
   51 M=TRD*(1E+04)
      SP2=SIN(THET2)/PS
      A1=ASIN(SP2)
      CIMP=2.*PS*SIN(2.*A1)*COS(2.*THET2)
      BAI2=SIN(2.*A1)*SIN(2.*THET2)+PS*PS*COS(2.*THET2)*COS(2.*THET2)
      ARS=CIMP/BAI2
      DARSDT=(-BAI2*2.*PS*SIN(2.*A1)+2.*SIN(2.*THET2)-
     1 CIM2*(SIN(2.*A1)*2.*COS(2.*THET2)+
     2 PS*PS*4.*COS(2.*THET2)*SIN(2.*THET2)))/(BAI2*BAI2)
      UTHP=ARS*A0/(R15**EN)*(R5/R2)
      VTHP=ARS*B0/(R15**EM)*(R5/R2)
      UTH=UTHP*UW(M)
      VTH=VTHP*VW(M)
      DUTHDT=A0/(R15**EN)*(R5/R2)*DARSDT
      DUTHDR=-UTHP/R2
C   STRESSES
      SRRS=AL* UW(M)/R2*(DUTHDT+UTHP*YA/(X2-XA))
      STHRS=UW(M)*((AL+2.*AM)/R2*DUTHDT+AL*UTHP/R2* YA/(X2-XA))
      STRS=UW(M)*((AL+2.*AM)/R2*UTHP*YA/(X2-XA) +AL/R2*DUTHDT)
      TRTHRS=AM*(DUTHDR*UW(M)-VTHP*VW(M)/CP-UTHP*UW(M)/R2)
   55 TATHRS=0.
      TARTRS=0.
```

```
C   CHANGE IN COORDINATES FROM D2 TO F
      B=THET+THET2
      SSRRS=SRRS*COS(G)*COS(G)+STHRS*SIN(G)*SIN(G)-
     1 2.*TRTHRS*SIN(G)*COS(G)
      SSFRS=SRRS*SIN(G)*SIN(G)+STHRS*COS(G)*COS(G)+
     1 2.*TRTHRS*SIN(G)*COS(G)
      SSTRS=STRS
      TTRFRS=(SRRS-STHRS)*SIN(G)*COS(G)+TRTHRS*(COS(G)*COS(G)-
     1 SIN(G)*SIN(G))
      TTETRS=0.
      TTTRRS=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE LONGITUDINAL WAVE REFLECTED FROM THE SECOND
C   FREE FACE (X=0.)
      TRD3=T-R3/CP
      IF(TRD3-1.E-04) 80,81,81
   80 SRRD3=0.
      STHRD3=0.
      TATRD3=0.
      GO TO 82
   81 J3=TRD3*(1.E+04)
      SP3=SIN(THET3)/PS
      AJ3=ASIN(SP3)
      CIM3=SIN(3.*THET3)*SIN(2.*THET3)-PS*PS*COS(2.*AJ3)*COS(2.*AJ3)
      BAI3=SIN(3.*THET3)*SIN(2.*THET3)+PS*PS*COS(2.*AJ3)*COS(2.*AJ3)
      ARD3=CIM3/BAI3
      U3=ARD3*A0/(R**EN)*UW(J3)
      DUP3DR=ARD3*(-1.4*A0/(R1**2.4))
      V3=ARD3*B0/(R**EM)*VW(J3)
      SRRD3=(AL+2.*AM)*(UW(J3)*DUP3DR-VW(J3)/CP)+2.*AL/R3*UW(J3)
      STHRD3=AL*(UW(J3)*DUP3DR-VW(J3)/CP)+2.*(AL+AM)/R3*UW(J3)
      UPR3=A0/(R3**1.4)
      DARD3DT=(BAI3-CIM3*2.*COS(2.*THET3)*SIN(2.*AJ3))/(BAI3*BAI3)
      DUP3DT=UPR3*DARD3DT
      TATRD3=AM/R*DUP3DT*UW(J3)
   82 STRRD3=STHRD3
      TARTRD3=0.
      TATRD3=0.
C   CHANGE IN COORDINATES FROM D3 TO F
      B3=(1.57-THET)+THET3
      SSRRD3=SRRD3*COS(B3)*COS(B3)+STHRD3*SIN(B3)*SIN(B3)-
     1 2.*SIN(B3)*COS(B3)*TATHRD
      SSFRD3=SRRD3*SIN(B3)*SIN(B3)+STHRD3*COS(B3)*COS(B3)+
     1 2.*SIN(B3)*COS(B3)*TATHRD
      SSTRD3=STRD3
      TTRFRD3=(SIN(B3)*COS(B3)*(SRRD3-STHRD3)+(COS(B3)*COS(B3)-
     1 SIN(B3)*SIN(B3))*TATHRD
      TTETRD3=0.
      TTTRRD3=0.
C   STRESSES CAUSED BY THE SECOND REFLECTED SHEAR WAVE
      TR4=T-R(S4/CP-(R4-R5)/CS
      IF(TR4-1.E-04) 86,87,87
   86 SRRS4=0.
      STHRS4=0.
      STRS4=0.
      TRTHRS4=0.
      GO TO 88
   87 M4=TR4*(1.E+04)
      SP4=SIN(THET4)/PS
      A14=ASIN(SP4)
      CIM4=2.*PS*SIN(2.*A14)*COS(2.*THET4)
      BAI4=SIN(2.*A14)*SIN(2.*THET4)+PS*PS*COS(2.*THET4)*COS(2.*THET4)
      ARS4=CIM4/BAI4
      DARSDT4=(-BAI4*4.*PS*SIN(2.*A14)*SIN(2.*THET4)-
     1 CIM4*(SIN(2.*A14)*2.*COS(2.*THET4)+
     2 PS*PS*4.*COS(2.*THET4)*SIN(2.*THET4)))/(BAI4*BAI4)
      UTHP4=ARS4*A0/(R15**EN)*(R5/R4)
      VTHP4=ARS4*B0/(R15**EM)*(R5/R4)
      UTH4=UTHP4*UW(M4)
      VTH4=VTHP4*VW(M4)
      DUDHT4=A0/(R15**EN)*(R5/R4)*DARSDT4
      DUTHDR4=-UTHP4/R4
      SRRS4=AL*UW(M4)/R4*(DUTHDT4+UTHP4*YA/(X2-XA))
      STHRS4=UW(M4)*((AL+2.*AM)/R4*DUTHDT4+AL*UTHP4/R4*YA/(X2-XA))
      STRS4=UW(M4)*((AL+2.*AM)/R4*UTHP4*YA/(X2-XA) +AL/R4*DUTHDT4)
      TRTHRS4=AM*(DUTHDR4*UW(M4)-VTHP4*VW(M4)/CP-UTHP4*UW(M4)/R4)
   89 TATHRS4=0.
      TARTRS4=0.
C   CHANGE IN COORDINATES FROM D4 TO F
      B4=(1.57-THET)+THET4
      SSRRS4=SRRS4*COS(G4)*COS(G4)+STHRS4*SIN(G4)*SIN(G4)-
     1 2.*TRTHRS4*SIN(G4)*COS(G4)
      SSFRS4=SRRS4*SIN(G4)*SIN(G4)+STHRS4*COS(G4)*COS(G4)+
     1 2.*TRTHRS4*SIN(G4)*COS(G4)
      SSTRS4=STRS4
      TTRFRS4=(SIN(G4)*COS(G4)*(SRRS4-STHRS4)+(COS(G4)*COS(G4)-
     1 SIN(G4)*SIN(G4))*TATHRS4
      TTETRS4=0.
      TTTRRS4=0.
C   SUMMATION OF ALL STRESSES
      SUMSR=SRRP+SRRD3+SRRS+SRRS4
      SUMST=STHRP+STHRD3+STHRS+STHRS4
      SUMSF=SSFRP+SSFRD3+SSFRS+SSFRS4
      SUMTR=TTRFRP+TTRFRD3+TTRFRS+TTRFRS4
      SUMTT=0.
      SUMTF=0.
C   CALCULATION OF THE PRINCIPAL STRESSES
      P1=0.5*(SUMSR+SUMSF+(SUMSR-SUMSF)**2+4.*(SUMTR**2+SUMTF**2))
     1 SUMTRF=SUMTRF)
      P2=0.5*(SUMSR+SUMSF-(SUMSR-SUMSF)**2+4.* (SUMTR-SUMTF)+
     1 SUMTRF*SUMTRF)
      P3=SUMSF
      IF(SUMTRF-0.) 61,62,62
   61 IF((SUMSR-SUMSF)-0.) 63,62,62
   63 M=2.*SUMTRF/(SUMSF-SUMSR)
      ALPHA=ATAN(M)
      ALPHA=57.296*ALPHA
      GO TO 65
   62 ALPHA=0.
   65 CONTINUE
      PRINT33,T,I,P1,P2,P3,ALPHA
   33 FORMAT(2X,E7.1,I2,3F11.3,F7.2)
C   APPLICATION OF THE CRITERION OF FAILURE
      IF(P1-P2-P3) 100,70,70
   70 PRINT 72,T,XA,YA
   72 FORMAT(18H FRACTURE AT TIME ,F7.1,14H  AT POINT XA=,1F6.1,3HYA=,
     1 1F6.1)
  150 CONTINUE
  100 CONTINUE
      END
```

APPENDIX 4

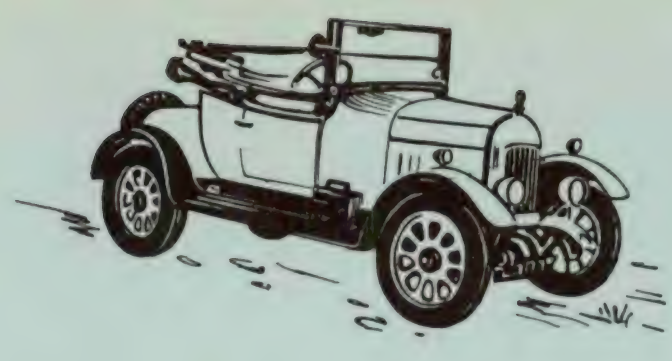
PROGRAM CYLIND

Computer Program for the Calculation of the Stresses Induced in Rock by the Detonation of a Cylindrical Charge of Explosive in the Vicinity of Two Free Face (Bench Blasting)

```
[illegible]
LGO.
-
      PROGRAM CYLIN(INPUT,OUTPUT)
      DIMENSION UW(20),VW(20)
      READ,T0
C   SYSTEM OF UNITS = CM,G,SEC
C   VALUES FOR THE CONSTANTS
      CP=4.8E+06
      CS=2.82E+05
      PS=[illegible]
      RL=6.8***1]
      AM=6.[illegible]
      A0=6.5
      B0=7.[illegible]
      EN=1.4
      EM=1.4
      EH=1.
      EK=1.
C   WAVE SHAPES FOR DISPLACEMENT AND PARTICLE VELOCITY
      READ 11,(UW(K),K=1,14),(VW(K),K=1,14)
   11 FORMAT(14F6.2/14F6.2)
      DO 18 KA=15,30
      UW(KA)=0.
      VW(KA)=0.
   18 CONTINUE
      PRINT 3
    3 FORMAT(2H  TIME   POINT   SIGMA 1   SIGMA 2   SIGMA 3   ALPHA/)
C   RADIUS OF THE CHARGE
      RC=8.8
C   DETONATION VELOCITY OF THE EXPLOSIVE
      VD=6.0E+[illegible]
C   THE VALUE OF XF REPRESENTS THE BURDEN
      XF=500.
C   ****************************************
C   COLLAR PRIMING AT THE POINT XF=800  YF=300
      DO 100 I=1,12
      READ 12,XA,YA
   12 FORMAT(2F8.1)
      DO 150 K=1,30
      TTEK=(1E-06)
      SUMSR=0.
      SUMSF=0.
      SUMST=0.
      SUMTRF=0.
      DO 200 N=1,13
      YY=N
      DELTAY=(YY-1.)*2.*RC
      XE=XF-DELTAY
      TETT=DELTAY/VD
C   DIRECT LONGITUDINAL WAVE
      R=SQRT((YF-YA)*(YF-YA)+(XF-XA)*(XF-XA))
      R=ABS(R)
      YY=(XF-XA)/(YF-YA)
      THET=ATAN(YY)
C   REFLECTED LONGITUDINAL WAVE FROM FIRST REFLECTION
      X1=YA*XF/(YF+YA)
      XY1=(XF-X1)/YF
      THET1=ATAN(XY1)
```

```
      [illegible]
      [illegible]
C     REFLECTED SHEAR WAVE FROM THE RIGHT [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
    7 X0=C.R*(XN+XP)
      C=[illegible]
     | [illegible]
      IF([illegible]/C)-[illegible]
    7 IF(C-[illegible]) 4,6,7
    4 YN=YC
      GO TO 2
    5 YP=YC
      GO TO 2
    6 YY0=(Y0-YA)/Y0
      [illegible]
      [illegible]
C     [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     [illegible]
      YN=YC
      [illegible]
   22 YC=[illegible]*(YN+YP)
      [illegible]
     | [illegible]
      IF([illegible]-[illegible]) 24,[illegible]
   23 IF(C-[illegible]) 24,[illegible]
   24 YN=YC
      GO TO 22
   25 YP=YC
      GO TO 22
   26 YY0=(Y0-YA)/Y0
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
   71 L=T[illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     [illegible] CAUSED BY THE REFLECT OF THE LONGITUDINAL REFLECTED WAVE
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      GO TO 44
   41 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
   44 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     CHANGE IN COORDINATES FROM [illegible]
      [illegible]
     | [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     [illegible] CAUSED BY THE REFLECT OF THE [illegible] SHEAR WAVE
      [illegible]
      [illegible]
   80 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      GO TO 87
   81 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
     | [illegible]
     2 [illegible]
      [illegible]
```

```
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
     | [illegible]
     | [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     STRESSES CAUSED BY THE LONGITUDINAL WAVE REFLECTED FROM THE SECOND
C     FREE FACE (X=0.)
      [illegible]
      IF([illegible]-1.E-04) 80,81,81
   80 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      GO TO 82
   81 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
   82 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     CHANGE IN COORDINATES FROM [illegible] TO F
      [illegible]
     | [illegible]
     | [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C     STRESSES CAUSED BY THE SECOND REFLECTED SHEAR WAVE
      [illegible]
      IF([illegible]-1.E-04) 87,81,81
   87 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      GO TO 82
   [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      
```



OS VELHOS CALHAMBEQUES SÃO MAIS JOVENS DO QUE NÓS

Durante meio século respondemos sempre às exigências da Indústria Automóvel.

E quanto ela evoluiu...

Mais leves, de linhas mais funcionais, de maior potência, e cada vez com maior duração, são algumas das características actuais das nossas baterias...

mas sabe que ainda não estamos satisfeitos?

A SUA SATISFAÇÃO É O NOSSO OBJECTIVO MAIOR.

TUDOR

1920 — 1970

TUDOR 50 ANOS

LISBOA · TOMAR · C. BRANCO · PORTO · COIMBRA · VISEU · ÉVORA · BRAGA · SETÚBAL · AVEIRO · FARO

SUPER-VULCANO

(Cimento Portland de Ferro)

Aprovado pelo Decreto n.º 49 371, de 11-11-1969

um cimento de
alta qualidade
distribuído pela

Empreza de Cimentos de Leiria, S.A.R.L.

SÍMBOLO DE QUALIDADE

C. D. U. 621.394.676

DESENHO DE UM CONVERSOR BINÁRIO-DECIMAL

por HELDER COELHO
Eng.º Elect. I. S. T.

RESUMO

O presente artigo trata da visualização da informação. É apresentado um conversor binário-decimal usando tubos indicadores.

SYNOPSIS

The present article deals with the display of information. It is shows a binary decimal converter using cold cathode tubes.

1 — INTRODUÇÃO

O presente artigo pretende colocar de um *modo pedagógico* o problema da visualização da informação.

Como os sistemas digitais oferecem usualmente saídas binárias e precisamos de as visualizar, tornam-se necessários conversores binário-decimais.

Assim instrumentos como contadores ou qualquer andar de saída de um sistema digital necessitam destas unidades, a fim de podermos obter os resultados em tubos indicadores.

O conversor é pois essencialmente uma unidade que trata a informação vinda de décadas e a fornece aos tubos (5).

Apresenta-se um método económico e simples, o qual é realizado na prática por meio de componentes discretos e integrados. O trabalho aqui descrito foi realizado em Janeiro de 1969 no Philips International Institute.

Posteriormente apareceram outros artigos que apontam para uma maior integração de componentes (1) (2).

2 — SOBRE A ESCOLHA DE UM SISTEMA

Existem fundamentalmente 2 sistemas de visualização: o *estático* e o *dinâmico* (3).

No *sistema estático* ou *em paralelo*, os tubos são alimentados simultâneamente e a descarga de iluminação é estabelecida em D.C..

No *sistema dinâmico* ou *em série*, os tubos são alimentados sequencialmente, de modo que, impulsos de corrente anódica atravessam de cada vez cada tubo.

O segundo sistema apresenta vantagens em virtude da redução do número dos sistemas lógicos ser notável.

Enquanto o *sistema estático* requer um circuito combinacional separado para cada tubo e um interruptor associado para cada cátodo, o *sistema dinâmico* só necessita de *um* circuito combinacional e de um interruptor para grupos correspondentes ao mesmo número do cátodo (Vide Fig. 1,2).

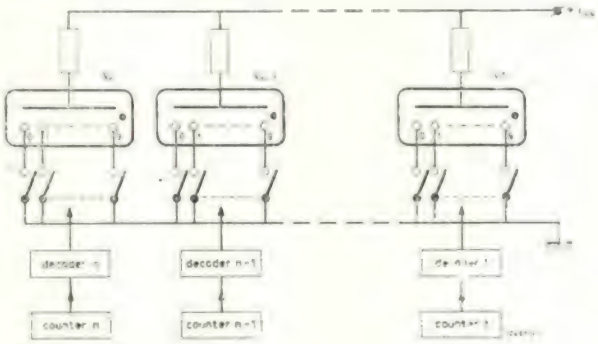


Fig. 1

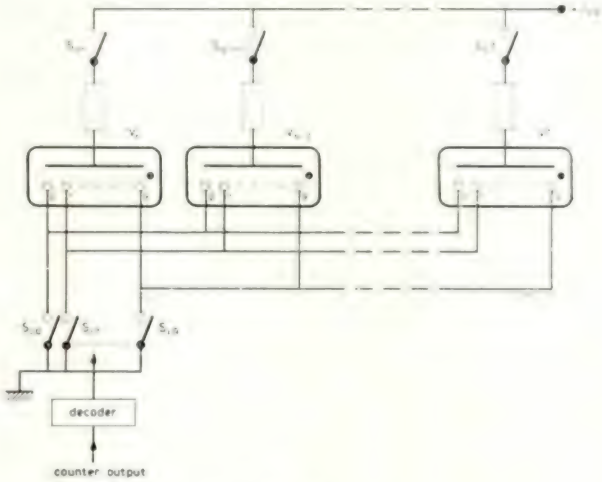


Fig. 2

No sistema dinâmico haverá que proceder à escolha do varrimento que pode ser pelo cátodo ou pelo ânodo.

Varrimento do cátodo — os cátodos são seleccionados sequencionalmente de um modo cíclico, fechando-se os interruptores do ânodo no instante apropriado a fim de se ter uma visão correcta dos números nos tubos indicadores.

Varrimento do ânodo — os ânodos são sequencionalmente seleccionados de modo cíclico, fechando-se os interruptores dos cátodos no instante adequado a fim de apresentarem nos tubos os números correctos.

O segundo método apresenta vantagens sobre o primeiro, quando se pretende fazer a visualização dos conteúdos numéricos de um register passivo, como memórias de «core magnetic» ou «shift register». Os interruptores de cátodo são então calculados para a corrente de um só tubo, ao contrário do varrimento do cátodo em que a corrente é N vezes menor.

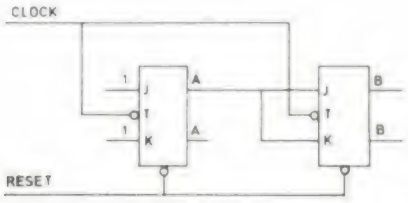


Fig. 3 — Cortador de 4 com um duplo Jk Flip Flop

Em face das características apresentadas escolheu-se o *sistema dinâmico com varrimento de ânodos.*

3 — ANÁLISE DO SISTEMA

O sistema é constituído pelos seguintes blocos:

3.1 — Contador de 4 e gerador de impulsos

O varredor de ânodo é constituído por um contador de 4, seu descodificador e por um gerador de impulsos de frequência variável.

O contador de 4 é um circuito integrado com 2 flip-flop JK, o qual é seguido por um outro circuito integrado com 4 «nand» de 2 entradas que nos dão cìclicamente um impulso «zero». O varrimento é pois feito por um impulso «0». (ver Fig. 3 e 4).

	A	B	
0	L	L	0
1	H	L	0
2	L	H	0
3	H	H	0

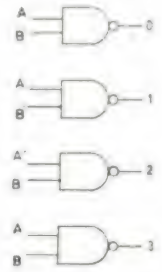


Fig. 4 — Descodificador varredor

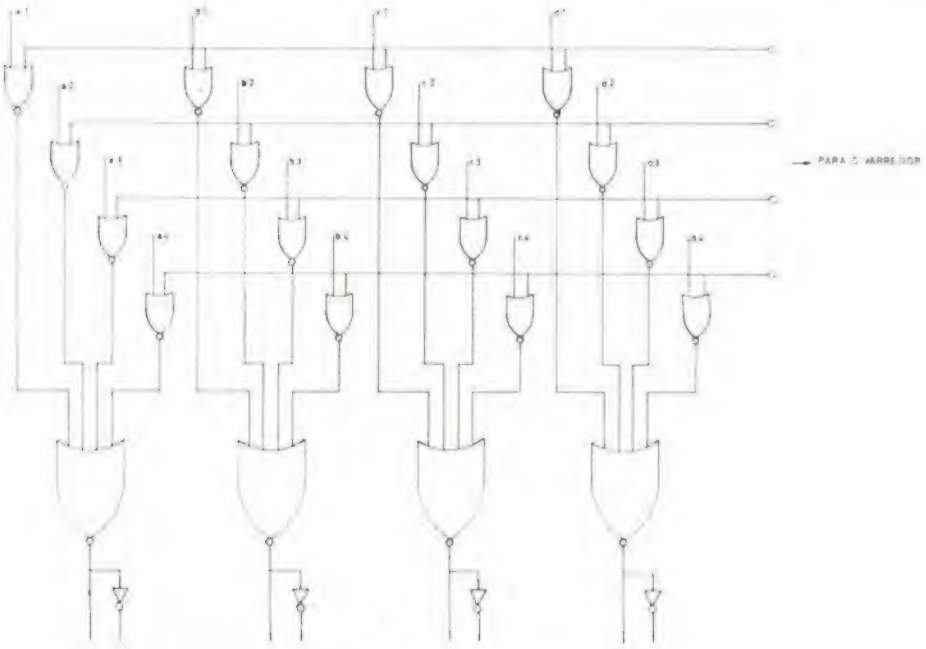


Fig. 5 — Interruptor digital

3.2 — Interruptor digital

É constituído por «nor» gates e permite passar a informação proveniente de 4 décadas, a qual irá sequencionalmente para cada um dos 4 tubos. Ao aumentarmos a frequência do gerador de impulsos podemos visualizar constantemente a informação proveniente das 4 décadas e posta nos 4 tubos (Ver Fig. 5).

3.3 — Descodificador binário-decimal

O circuito combinacional apresentado é constituído totalmente por elementos discretos (matriz de 30 díodos e 10 «and» gates), o qual não apresenta qualquer vantagem do ponto de vista económico. O circuito integrado equivalente possui sensìvelmente o mesmo preço e permite a redução de 4 «gates» do interruptor digital [(1), (4)].

A única desvantagem do seu emprego é a redução do brilho dos números (Ver Fig. 6).

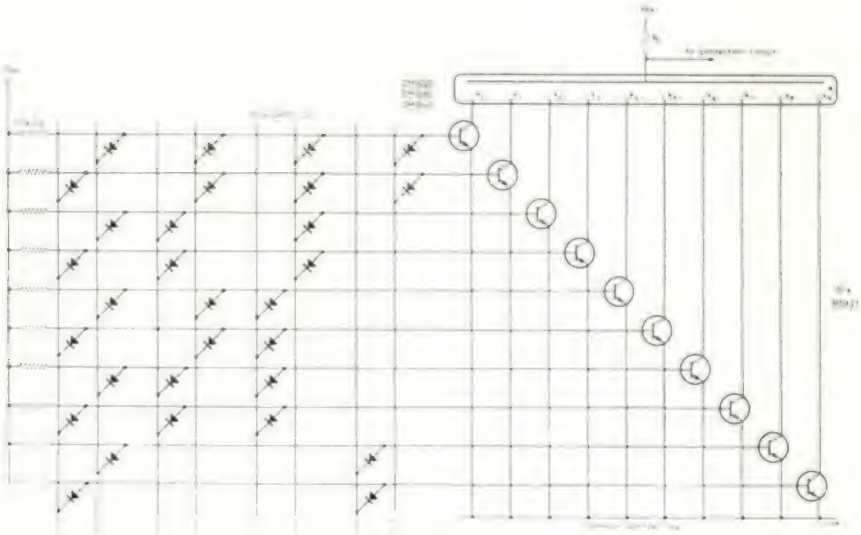


Fig. 6

3.4 — Circuito anódico

Na Fig. 8 é apresentado o circuito anódico.

É requerido que, no momento em que se aplica o primeiro número binário à entrada do circuito combinacional, tenhamos no ânodo do primeiro tubo a tensão apropriada para a ignição. Isto pode ser fàcilmente obtido com o sistema de varrimento. No momento em que o transistor T_1 está cortado (— 5V ou zero lógico), o ânodo do seu correspondente tubo tem uma tensão de 200 V, a qual é suficientemente alta para a ignição. Depois decresce até à tensão de manutenção (~ 150 V).

Se T_1 está aberto OV ou «1» lógico) a tensão do ânodo é 81V, a qual é a tensão do colector de T_1. O tubo estabilizador ZZ 1000 é utilizado a fim de manter VCE a um valor não superior a 120 V.

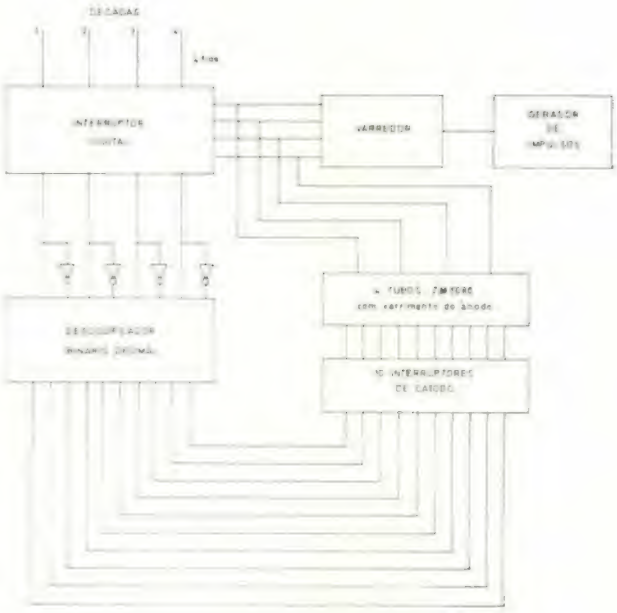


Fig. 7 — Síntese do sistema

No varrimento usamos o mesmo impulso empregue na transferência dos números binários para o circuito combinacional.

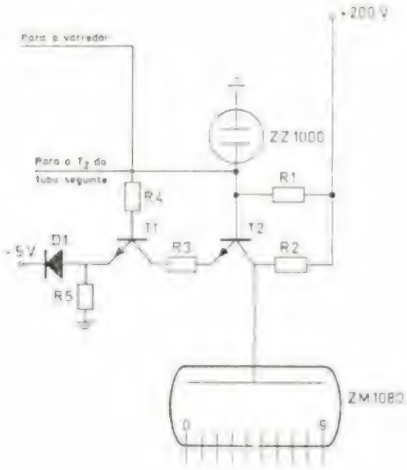


Fig. 8

Os impulsos de varrimento são ajustados de modo que «zero» é aplicado sucessivamente à primeira entrada e ao circuito do ânodo do primeiro tubo.

Aumentando a frequência do varrimento, temos os 4 números (da entrada) a permanecerem com o mesmo brilho constante nos tubos.

4 — SÍNTESE DO SISTEMA

Na Fig. 8 é apresentado em blocos o esquema do conversor binário decimal.

BIBLIOGRAFIA

1) Nicoud, «Sequential Display» in «Electronic Enginnering», Nov. 1969.

2) Gill, «Segmented array simplifies external address circuitry required for numeric display, strobing permits time-sharing of logic and drive» Electronics, March 2, 1970.

3) Philips Application information, 327 Sept — 1968 «Cold cathode numerical indicator tubes; operating principle, behaviour and applications».

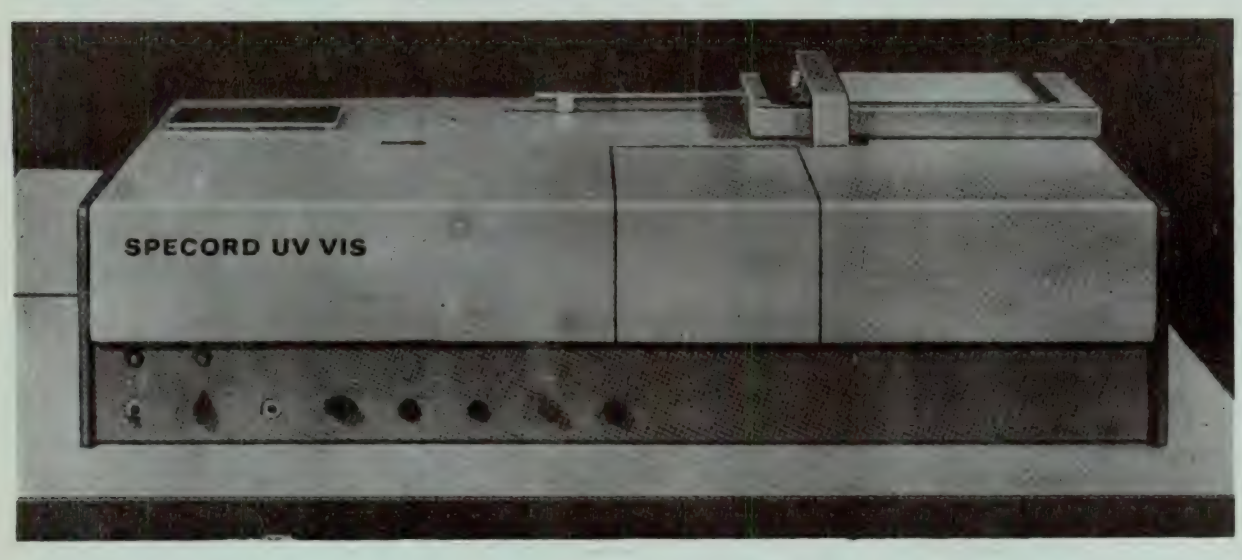
4) Philips application information, 829 June — 1966 «Numerical indicator tube drive with transistor type BSX 21.

5) D. M. Pantic, «Storage decoding decade for indicating tubes», Electronic Engineering, March 1969.

SPECORD UV VIS

Espectrofotómetro automático registador de duplo feixe para a zona dos ultravioletas e visível, de VEB CARL ZEISS DE JENA.

Meio indispensável para os químicos, biólogos e médicos, nas medições de extinção e transmitância de amostras sólidas, fluidas e vaporosas.



Automatismo

Uma análise requere 3 manipulações:
INTRODUZIR A AMOSTRA—COLOCAR O PAPEL DE REGISTO—PREMIR O BOTÃO DE FUNCIONAMENTO.

Diversidade de Utilização

GAMA DOS 54.000 a 12.500 cm^{-1} ($\simeq$ 185 nm a 800 nm)
4 velocidades de registo 2.2 a 22 minutos por folha
4 escalas de comprimento de onda
2 representações de ordenadas para medidas lineares da extinção e transmitância em 4 escalas diferentes.

Precisão

Reproducibilidade do comprimento de onda $\pm$ 20 cm^{-1}
Largura de banda espectral a 17.000 cm^{-1} ($\simeq$ 585 nm) $<$ 30 cm^{-1} ($<$ 1 nm)
Iluminações estranhas a 50.000 cm^{-1} $<$ 1%

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

CENTRO TÉCNICO HOSPITALAR S.A.R.L.
DIVISÃO ZEISS: TELEF. 778166/7
AV. DA REPÚBLICA, 84 LISBOA 1

ESCAVADORAS HIDRÁULICAS
S/RODAS — S/LAGARTAS

yumbo

— ENTREGAS IMEDIATAS

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA, LDA.

RUA ÁUREA, 181 - 2.° — TELEFONES 325011 - 327845 — LISBOA

ISOLUX L.DA

ESTUDOS E INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS

Porto

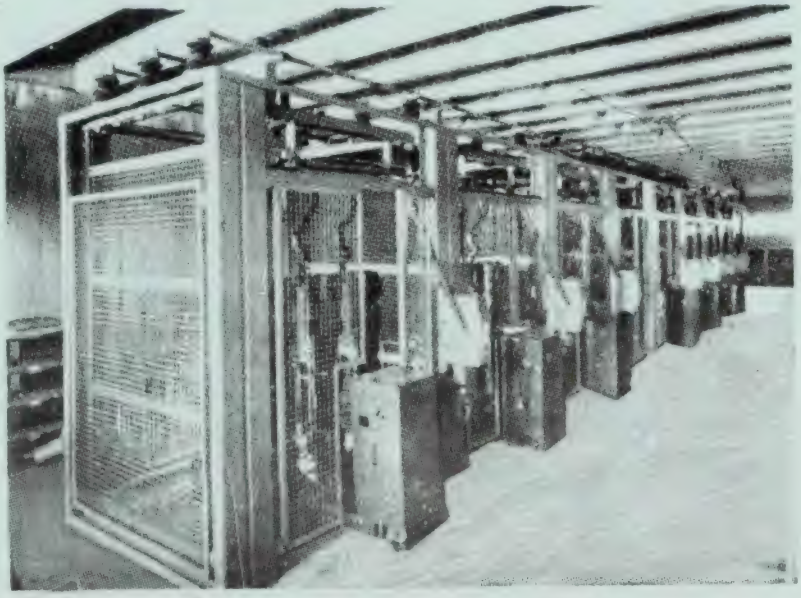
R. Dr. Alfredo Magalhães, 110 - 2º. Dtº.

Tel. 20723

Lisboa

L. Campo Pequeno, 21 - 4° Esq

Tel. 77 00 30/8/9



CELAS ABERTAS DE ALTA TENSÃO

Projectos e instalações eléctricas de:

Centrais

Subestações

Postos de Transformação

Fábricas

Edifícios públicos

Blocos residenciais

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

C. D. U. 007.52

AUTÓMATOS FINITOS

por LUÍS FERNANDO MONTEIRO
Do Centro de Estudos de Cibernética

RESUMO

Introduzem-se neste artigo algumas definições básicas da teoria dos autómatos finitos com vista a salientar a importância do problema da decomposição de um dado autómato em outros autómatos mais simples, susceptíveis de, conjuntamente, exibirem o mesmo comportamento que o autómato de partida

0. INTRODUÇÃO

De entre a quantidade de desenvolvimentos teóricos que acompanharam a emergência dos computadores digitais, uma parte é dedicada ao estudo de máquinas sequênciais ou autómatos finitos, que são modelos abstractos dos computadores digitais (embora a máquina sequêncial seja um modelo pobre para o propósito geral do computador, é um modelo efectivo para algumas das suas partes funcionais), bem como de outros dispositivos físicos, entre os quais citamos as unidades de controle digital. O objectivo destes desenvolvimentos é a construção de uma teoria algébrica responsável pelo estabelecimento das capacidades e limitações dos autómatos finitos, e pelo estudo de como as máquinas sequênciais podem ser realizadas a partir de máquinas* componentes mais simples, de como é que estas máquinas devem ser interconectadas, e de como flui a informação *em e entre* estas máquinas quando elas operam.

Só nos preocupará aqui o segundo aspecto, ainda que abordado de longe. Para concretizar, imaginemos que se pretende construir um dispositivo físico modelado por uma máquina sequêncial, como parte de um equipamento de automação, e encaremos o problema sob o ponto de vista do construtor.

Ao automatizar um dado sistema de produção industrial, o que se tem em mente é substituir o operador humano por um dispositivo que cumpra as mesmas especificações que aquele. Obviamente, tal como o operador humano, o dispositivo só pode persistir no cumprimento dessas especificações se lhe forem fornecidos dados suficientes pelo sistema de produção em causa. Posto isto, a construção desse dispositivo segue normalmente três estágios: (1) em primeiro lugar especifica-se o comportamento entrada-saída (isto é, determina-se uma relação entre os dados fornecidos e os dados a receber), e estabelece-se um projecto puramente lógico; (2) procede-se em seguida à realização física da máquina; (3) depois vem a fase de experimentação onde se averigua se as transições de estado que ocorrem são as desejadas, ou se existem imprecisões nos elementos tecnológicos escolhidos. A teoria algébrica das máquinas só intervém directamente na primeira fase (é este o segundo objectivo indicado anteriormente), embora possa contribuir indirectamente na segunda e terceira, permitindo diversas alternativas na escolha das máquinas que têm o mesmo comportamento entrada-saída.

A importância da teoria assenta portanto no facto de que assegura uma ligação directa entre relações algébricas e realizações físicas de máquinas (descrevendo os resultados algébricos da teoria as possíveis realizações de uma máquina a partir de máquinas «mais pequenas»), apesar da teoria ser independente da tecnologia utilizada na realização. Além disso, os modelos fornecidos pela teoria permitem delimitar os aspectos da acção dos autómatos finitos.

O nosso propósito aqui é introduzir algumas

* Em tudo o que se segue, utilizaremos de um modo geral o termo «máquina» para designar o modelo formal definido na def. 1.2 (pág. 374). Excepção será feita, todavia, nos parágrafos 1.1, 1.2, 1.3, onde, ao referirmo-nos a «máquina», imaginamos um dispositivo físico a partir do qual abstraíremos a definição formal de máquina sequêncial.

definições básicas da teoria que nos permitam enunciar correctamente o problema da decomposição de uma dada máquina em máquinas mais simples. Assim, começamos por definir máquina sequêncial de uma forma abstracta, recorrendo em seguida aos conceitos de isomorfismo, homomorfismo e equivalência, que nos fornecem uma primeira ideia de quando certas máquinas podem ser utilizadas para imitar o comportamento de outras. A noção mais geral de realização é dada em seguida, e tem por objectivo assegurar que qualquer decomposição, prescrita pela teoria, de uma dada máquina, conduza efectivamente à construção de um dispositivo físico que imite o comportamento dessa máquina. Põe-se em seguida o problema da codificação dos estados internos de qualquer máquina (que não é distinto do problema da decomposição), evidenciando por meio de um exemplo, que codificações (ou decomposições) diferentes podem conduzir a realizações físicas extremamente diferentes. Geralmente, o critério adoptado na escolha de possíveis realizações tende a excluir as que são compostas de um maior número de componentes (físicas), permitindo assim reduzir a dependência funcional, embora outros critérios possam subsistir. A teoria algébrica de autómatos finitos permite uma aproximação à resolução deste problema.

1. DEFINIÇÃO DE MAQUINA SEQUÊNCIAL

1.1. Do ponto de vista do utilizador, uma máquina pode geralmente ser tomada como uma caixa fechada, com canais de entrada e canais de saída que veículam a informação (fig. 1.1).

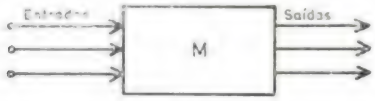


Fig. 1.1

O utilizador actua sobre a máquina através dos canais de entrada e a máquina actua de alguma forma sobre o utilizador através dos canais de saída. Normalmente o utilizador não necessita de conhecer o conteúdo da caixa, qual a composição física das partes da máquina. Isto é, a menos que ele esteja particularmente interessado em compreender como trabalha a máquina ou em modificar, esse trabalho, ele só necessita saber quais são as suas propriedades «entrada-saída» ignorando assim o modelo físico que possui tais propriedades.* A teoria dos autómatos adopta semelhante atitude, não se preocupando ainda com a natureza física dos sinais de entrada ou de saída. Os sinais tanto podem ser impulsos eléctricos como num computador, como impulsos mecânicos que transmitem informação de roda para roda como numa máquina de somar, que a sua distinção do ponto de vista físico é aqui irrelevante.

Aparte portanto a natureza dos sinais, o que nos vai preocupar é o *conjunto de estados distintos* que podem caracterizar um canal de informação num dado momento. Se α canais de entrada (ou β de saída) apresentarem cada um l (ou p) estados distintos, o estado total de entrada (ou de saída) num dado instante será um dos α^l (ou β^p) estados possíveis. A teoria dos autómatos pressupõe α^l e β^p *finitos*.

Seguindo este ponto de vista abstracto, podemos pensar então nessa máquina como tendo só um canal de entrada com $m = \alpha^l$ estados (visto que só nos preocuparemos em distinguir os estados) e um só canal de saída com $n = \beta^p$ estados estando presentes em cada instante um estado de entrada e um de saída. Actualmente o nosso esquema será o da figura 1.2.

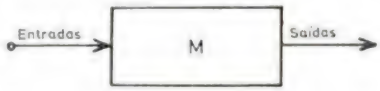


Fig. 1.2

As entradas e saídas são sequênciais de símbolos ordenados no tempo. Além disso, os sinais de entrada e os sinais de saída são supostos sucederem-se sincronizados uns com os outros, podendo o sincronismo ser mantido por meio de outros sinais gerados exteriormente ao circuito por qualquer relógio, em iguais intervalos de tempo. O utilizador actua sobre a máquina por meio de uma dada entrada u, a máquina reage

* Lidando com uma máquina nestas condições é usual referírmo-nos a ela como sendo uma «caixa negra», indicando o nosso desconhecimento e desinteresse pelo seu interior.

seleccionando uma saída Z, com que actua sobre o utilizador uma unidade de tempo depois.

Ora, para descrever completamente a máquina (para que o utilizador a possa operar) precisamos de especificar como ela se comporta, ou seja, de que maneira vai a máquina responder aos estímulos que lhe provêm do exterior.

1.2. Nada nos impede de pensar, em princípio, que a resposta da máquina a um sinal de entrada vai depender do seu «passado», da sua «história prévia» (registo de todo o processo estímulo — resposta até ao instante actual) até ao momento presente em que se lhe aplicou o estímulo. No entanto por razões de ordem física, não admitimos a possibilidade de um sinal de entrada atravessar a máquina instantâneamente, e assim restringimos a dependência da saída no instante t à história da máquina até ao instante $t-1$, bem como à entrada nesse instante.

Notemos por $H(t)$ a história de toda a actividade da máquina M desde que ela entrou em funcionamento até ao instante t. Se aplicarmos a M uma entrada u no instante t ela responderá com um símbolo de saída Z no instante $t+1$, determinado por u e $H(t)$.* Deve existir então uma relação λ da forma

$$Z(t+1) = \lambda(H(t), u(t)).$$

Esta relação, porém, é pouco manejável, em face da dependência de todo o passado da máquina. Veremos agora como obter tal relação numa forma mais simples, fazendo uma restrição especial quanto à natureza de M, nomeadamente que a máquina é, em certo sentido, finita.

Admitimos que M recordava toda a sua história até ao instante t (independentemente da sua idade), mesmo os acontecimentos mais remotos. Mas para isso a máquina precisaria de ter uma capacidade de qualquer forma infinita para armazenar todos esses eventos. Máquinas que são compostas por um número finito de partes (como as que estamos interessados em estudar) não poderão registar todos os acontecimentos de histórias arbitràriamente longas, o que equivale a afirmar que *a sua memória terá de ser finita.*

(*) Pode acontecer, para uma dada máquina M, que a saída $Z(t+1)$ não fique de facto determinada pela entrada $u(t)$ e pela sua história $H(t)$: teríamos então uma máquina não determinística Esse caso não nos ocupará aqui.

Ora para uma máquina M, num instante t, é possível imaginar uma variedade infinita de histórias possíveis, mas se a sua memória for limitada ela não poderá distingui-las todas. É claro que se M não distingue duas histórias H_1 e H_2 num dado instante, o seu comportamento futuro será o mesmo quer o seu passado tenha sido H_1 quer H_2.

Definição 1.1. Duas histórias H_1 e H_2 são equivalentes para uma máquina M se o só se M não as puder distinguir, isto é, se e só se, aplicando a M uma sequência finita qualquer de entradas $u_1(t), u_2(t+1), \ldots$, a respectiva sequência de saídas $Z_1(t+1), Z_2(t+2), \ldots$ for independente de o passado de M ter sido H_1 ou H_2 — a sequência de saídas é igual em ambos os casos.

Fica assim definida no conjunto $\mathscr{H}$ de todas as histórias possíveis para M uma relação R — «equivalente a» — de equivalência, isto é, a relação R é

reflexiva — para todo o H, $H\,R\,H$;
simétrica — $H_1\,RH_2$ implica $H_2\,RH_1$; e
transitiva — $H_1\,RH_2$ e $H_2\,RH_3$ implicam $H_1\,RH_3$.

As classes de equivalência

$$A_i = \{H \mid H_i\,RH\}$$

constituem uma partição $\mathscr{P} = \{A_i\}$ de $\mathscr{H}$ porque

1) $A_i \neq \emptyset$ e $A_i \subseteq \mathscr{H}$ para todo o $A_i \in \mathscr{P}$;
2) $i \neq j$ implica $A_i \cap A_j = \emptyset$;
3) $\bigcup_i A_i = \mathscr{H}$.

Tomamos portanto o conjunto de todas as histórias para M e particionâmo-lo em subconjuntos disjuntos não vazios (cada história pertencendo a um e um só subconjunto), sendo os elementos de cada subconjunto as histórias equivalentes entre si para M.

1.3. O postulado chave da teoria dos autómatos finitos é que a máquina sòmente pode distinguir, no seu comportamento passado e futuro, entre um *número finito de classes de histórias.* Quer isto dizer que $\mathscr{P}$ é finito. Às classes em $\mathscr{P}$ chamamos *estados internos* ou *estados de memória*

da máquina. Passaremos a representar o conjunto dos estados de mémoria por

$$S = \{ s_1, \ldots, s_k \}.$$

Segundo esta definição de estado interno podemos escrever a resposta de M a uma entrada u, quando o seu estado de memória for s,

$$Z(t+1) = \lambda(s(t), u(t)), \qquad (1)$$

isto é, a saída num dado instante depende sòmente do estado interno e da entrada no instante anterior.

Vejamos agora como varia o estado interno com o sinal de entrada. A história da máquina no instante $t+1$ difere da sua história no instante t sòmente num termo, termo esse que descreve o que aconteceu no instante t por intermédio do sinal de entrada $u(t)$. Por intermédio de $u(t)$ a história de M passa de $H(t)$ a $H(t+1)$, ou melhor, da classe que contém $H(t)$ à classe que contém $H(t+1)$ (eventualmente a mesma).

Isto pode ser expresso por uma relação δ da forma

$$s(t+1) = \delta(s(t), u(t)). \qquad (2)$$

Uma vez explicitada nas expressões (1) e (2) a dependência do tempo, passaremos a escrever simplesmente

$$Z_i = \lambda(s_j, u_k),$$
$$s_l = \delta(s_j, u_k).$$

Respondendo agora à nossa questão anterior, temos que o comportamento da máquina fica perfeitamente definido por λ e δ.

1.4. Recapitulando o que ficou dito, damos agora uma definição formal de máquina sequêncial.

DEFINIÇÃO 1.2. *Uma máquina sequêncial* é um quíntuplo

$$M = (S, I, O, \delta, \lambda),$$

onde:

i) $S = \{s_1, \ldots, s_k\}$ é um conjunto finito de configurações internas, ou de estados de memória;

ii) $I = \{u_1, \ldots, u_m\}$ é um conjunto finito de entradas, ou alfabeto de entrada;

iii) $O = \{Z_1, \ldots, Z_n\}$ é um conjunto finito de saídas, ou alfabeto de saída;

iv) $\delta : S \times I \longrightarrow S$ é chamada função de transição;

v) $\lambda : S \times I \longrightarrow O$ é a função de saída.

A máquina definida de i) — v) constitui uma máquina de Mealy.

Por vezes a função λ tem por domínio sòmente o conjunto S, escrevendo-se $\lambda : S \longrightarrow O$. A este caso corresponde uma máquina de Moore.

Quando estamos particularmente interessados em estudar as propriedades das transições de estados internos, separadamente das saídas, torna-se útil o conceito de máquina de estado.

DEFINIÇÃO 1.3. Uma *máquina de estado* é um tríplete

$$M = (S, I, \delta),$$

S, I, δ definidos como na definição 1.2.

A figura 1.3 mostra uma representação esquemática de $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$.

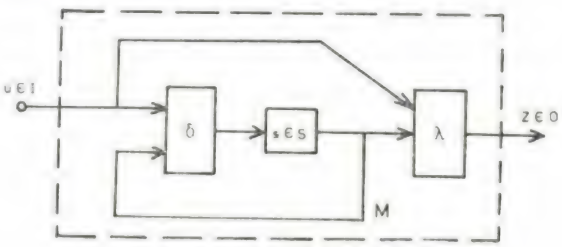


Fig. 1.3

As linhas conduzem a informação no sentido indicado pelas setas; dois blocos combinatórios representam δ e λ, um bloco de memória regista o estado actual da máquina.

Numa máquina de Moore não existe a linha que conduz os sinais de entrada no bloco combinatório λ; numa máquina de estado, omite-se igualmente o bloco combinatório de saída.

2 — REPRESENTAÇÕES

Segundo a definição dada na secção anterior, uma máquina M deixa-se definir pela especificação dos conjuntos S, I, O, e pela definição das funções δ, λ que traduzem o comportamento de M. Deter-nos-emos agora sobre algumas formas (as mais comuns) de representar uma máquina completamente especificada.

2.1 — Quadros de transição de estado e de saída

Um processo de definir uma função $f: A \rightarrow B$ sendo A e B conjuntos finitos não vazios, é escrever todos os pares ordenados (a, b) tais que $b = f(a)$.

Se $A = C \times D$, uma representação cómoda contendo a mesma informação que o conjunto dos pares

$$((c, d), b) \text{ tais que } b = f(c, d), b \in B \text{ e } (c, d) \in C \times D$$

é exemplificada no quadro da figura 2.1 onde, no cruzamento da linha i com a coluna j se encontra o elemento b_{ij} tal que

$$b_{ij} = f(c_i, d_j).$$

	d_1	$\cdots$	d_j	$\cdots$	d_m
c_1	b_{11}	$\cdots$	b_{1j}	$\cdots$	b_{1m}
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
c_i	b_{i1}	$\cdots$	b_{ij}	$\cdots$	b_{im}
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
c_n	b_{n1}	$\cdots$	b_{nj}	$\cdots$	b_{nm}

Fig. 2.1

Consideremos agora a figura 2.2. Este quadro representa uma máquina A, com

$$S = \{s_1, s_2, s_3\}, \; I = \{u_1, u_2\}, \text{ e } O = \{Z_1, Z_2\}.$$

		ENTRADAS		ENTRADAS		
		u_1	u_2	u_1	u_2	
ESTADOS	s_1	s_2	s_3	Z_1	Z_2	SAÍDAS
	s_2	s_2	s_3	Z_1	Z_1	
	s_3	s_3	s_1	Z_2	Z_2	

Fig. 2.2 — Máquina A de Mealy

São ainda definidas as funções δ e λ. Por exemplo,

$$\delta(s_2, u_2) = s_3, \; \lambda(s_2, u_2) = Z_1.$$

Note-se que este quadro se refere a uma máquina de Mealy. Na figura 2.3 indicaremos quadros definindo uma máquina de Moore e uma máquina de estado. Em ambas as máquinas B e C, definimos os mesmos conjuntos S, I, O e a mesma função δ que para a máquina A. Além disso, para a máquina B temos

$$\lambda(s_1) = Z_1, \; \lambda(s_2) = Z_1, \; \lambda(s_3) = Z_2.$$

	u_1	u_2	
s_1	s_2	s_3	Z_1
s_2	s_2	s_3	Z_1
s_3	s_3	s_1	Z_2

Máquina B de Moore

	u_1	u_2
s_1	s_2	s_3
s_2	s_2	s_3
s_3	s_3	s_1

Máquina C de estado

Fig. 2.3

2.2 Grafos de estado ou diagramas de estado

A mesma informação de um quadro pode ser contida num grafo de estado. Consideremos a figura 2.4. Nela está representado o grafo da máquina A.

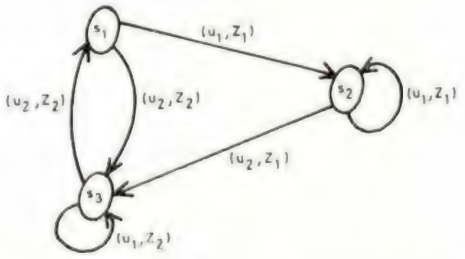


Fig. 2.4 — Grafo de estado da máquina A.

Cada estado é representado por um nó do grafo. A seta que parte do nó s_2 especificada com (u_2, z_1) indica que

$$\delta(s_2, u_2) = s_3, \lambda(s_2, u_2) = z_1.$$

A figura 2.5 mostra o grafo de uma máquina de Moore. Da mesma forma temos, por exemplo,

$$\delta(s_2, u_2) = s_3.$$

O par (s_3, z_2) num mesmo nó indica que

$$\lambda(s_3) = z_2.$$

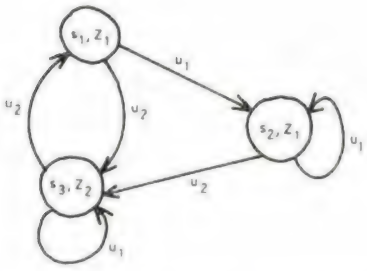


Fig. 2.5 — Grafo de estado da máquina B.

Qualquer dos grafos das figuras 2.4 e 2.5 pode representar uma máquina de estado, apagando os símbolos de saída.

2.3. Martrizes Booleanas e vectores de saída

Esta forma de representação só pode ser utilizada para uma máquina de Moore. A cada símbolo do alfabeto de entrada associamos uma matriz quadrada de ordem K, sendo K o número de estados da máquina. Para uma dada entrada u, o elemento de índice ij da matriz que lhe corresponde será igual a 1 (um) se

$$\delta(s_i, u) = s_j$$

e 0 (zero) nos outros casos*

Consideremos a máquina B de Moore. Temos neste caso duas matrizes Booleneas, representadas na figura 2.6.

$$\text{Matriz } u_1 \quad \begin{array}{c|ccc} & s_1 & s_2 & s_3 \\ \hline s_1 & 0 & 1 & 0 \\ s_2 & 0 & 1 & 0 \\ s_3 & 0 & 0 & 1 \end{array} \qquad \text{Matriz } u_2 \quad \begin{array}{c|ccc} & s_1 & s_2 & s_3 \\ \hline s_1 & 0 & 0 & 1 \\ s_2 & 0 & 0 & 0 \\ s_3 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

Fig. 2.6

É claro que em caca linha existe um único 1, porque só pode haver uma transição de um estado para o outro, para cada entrada. No entanto isso não se passa para as colunas.

* Consideramos a máquina completamente especificada, isto é o domínio de δ é $S \times I$ e não qualquer seu subconjunto.

A cada s_i associamos um vector linha $(1 \times k)$ com 1 na i-esima coluna e 0 nas restantes. Por exemplo para a máquina B

$$s_2 \equiv [0\ 1\ 0].$$

O estado seguinte da máquina determina-se multiplicando o vector linha correspondente ao estado actual pela matriz correspondente à entrada aplicada.

Aplicando uma entrada u_2 à máquina B no estado s_2, o estado seguinte é

$$[0\ 1\ 0] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0\ 0\ 1] \equiv s_3,$$

o que mostra que $\delta(s_2, u_2) = s_3$.

A saída obtém-se multiplicando o vector linha de estado pelo vector coluna $\{Z_i\}$ com K linhas e Z_i no j-ésima linha se $Z_i = \lambda(s_i)$. Ainda na máquina B, a saída correspondente a s_3 é

$$[0\ 0\ 1] \begin{bmatrix} Z \\ Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} = Z_2$$

ou seja, $\lambda(s_3) = Z_2$.

2.4. QUÁDRUPLOS

Uma máquina pode igualmente ser representada pelo conjunto finito

$$\{(s_i, u_j, Z_k, s_e)\}$$

dos quádruplos (estado actual, entrada, saída estado seguinte), não havendo dois quádruplos diferentes com os dois primeiros elementos iguais,

(s_2, u_2, Z_1, s_3) e (s_2, u_2, Z_2, s_3) pertencem aos conjuntos de quádruplos das máquinas A e B respectivamente

2.5. EXEMPLO. Deseja-se encontrar uma máquina da forma indicada na figura 2.7, onde os dois canais de entrada e o canal de saída apresentam dois estados distintos cada um, que

representamos pelos símbolos 0 e 1. A máquina deve satisfazer às seguintes condições:

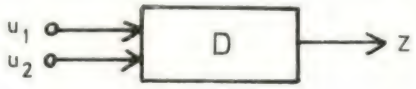


Fig. 2.7

i) Se $u_2 = 1$, a saída é idêntica à entrada u_1;
ii) Se $u_2 = 0$, a saída mantém o último valor que possuia antes de u_2 se tornar igual a zero.

Começamos por definir os conjuntos de entrada e de saída. O alfabeto de entrada é o conjunto de valores que o par ordenado (u_1, u_2) pode tomar:

$$I = \{00, 01, 10, 11\}.$$

Assim, se $u_1 = 0$ e $u_2 = 1$, o estado de entrada é 01. O alfabeto de saída é $0 = \{0, 1.\}$. Vamos procurar uma máquina de Moore que resolva o problema.

Analisemos as possíveis alternativas de transição de estado e de saída, para a máquina num estado inicial s_1 tal que $Z = 0$ (fig. 2.8).

	00	01	10	11	
s_1	s_1	s_1	s_1	s_2	0
s_2					1

Fig. 2.8

Utilizemos a condição i) do enunciado. Para isso vejamos o que acontece quando aplicamos as entradas 01 e 11, onde $u_2 = 1$.

Se se aplica 01, então $u_1 = 0$ e portanto $Z = 0$. Deverá ser

$$\delta(s_1, 01) = s_1 \text{ para que } \lambda[\delta(s_1, 01)] = 0.$$

Se se aplica 11, então $u_1 = 1$ e portanto $Z = 1$. Teremos de introduzir um novo estado s_2, sendo

$$\delta(s_1, 11) = s_2 \text{ tal que } \lambda(s_2) = 1.$$

Utilizando a condição ii) vemos que, aplicando as entradas 00 e 10, a saída continua a ser $z = 0$, pelo que

$$\delta(s_1, 00) = \delta(s_1, 10) = s_1.$$

Observando novamente as condições i) e ii) do enunciado descobrimos imediatamente que o preenchimento das transições para s_2 é como se mostra na figura 2. 9, onde se apresenta a máquina D totalmente especificada.

	00	01	10	11	
s_1	s_1	s_1	s_1	s_2	0
s_2	s_2	s_1	s_2	s_2	1

Fig 2.9 — Máquina D completamente especificada.

3. DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS

3.1 — Isomorfismo e Homomorfismo

Introduzimos agora algumas definições básicas da teoria dos autómatos.

DEFINIÇÃO 3.1. Uma máquina

$$M' = (S', I', 0', \delta', \lambda')$$

é uma *submáquina* da máquina

$$M = (S, I, 0, \delta, \lambda)$$

se e só se i) $S' \subseteq S$, $I' \subseteq I$, $0' \subseteq 0$,

ii) $\delta' : S' \times I' \to S'$ e $\delta' = \delta$ restringida a $S' \times I'$*,

iii) $\lambda' : S' \times I' \to 0'$ e $\lambda' = \lambda$ restringida a $S' \times I'$.

DEFINIÇÃO 3.2. Uma máquina M é *fortemente conexa* se e só se, qualquer que seja a submáquina M' de M, $I' = I$ implica $S' = S$.

Isto quer dizer que qualquer que seja $P \subset S$ existe $s \in P$ e $u \in I$ tal que $\delta(s, u)$ não está contido em P. Com efeito, se existir $P \subset S$ tal que para todo o $s \in P$ e $u \in I$ se tem $\delta(s, u) \in P$, é possível definir $M' = (S', I', 0', \delta', \lambda',)$ com

$$S' = P, I' = I, 0' \subset 0,$$

$\delta' = S' \times I' \to S'$ e $\delta' = \delta$ restringida a $S' \times I'$;

* Seja $f : S \to T$ e $U \subset S$; então a função $g : U \to T$ é a restrição de f a U se $g(s) = f(s)$, para todo o $s \in U$. Se $f : S \to T$, $S \subset U$ e $T \subset V$, então uma função $g : U \to V$ é uma extensão de f se $f(s) = g(s)$ para todo o $s \in S$.

$\lambda : S' \times I' \longrightarrow O'$ e $\lambda' = \lambda$ restringida a $S' \times I'$,

que é uma submáquina de $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$. Se pelo contrário esta condição não se verificar, é impossível definir um tal δ' (será então, $\delta' : S' \times I' \longrightarrow S$).

Equivalentemente, uma máquina é fortemente conexa se e só se de cada estado se pode atingir qualquer outro estado através de uma sequência convenientemente escolhida de entradas.

As duas máquinas representadas na figura 3.1 não são fortemente conexas. Para a máquina E é possível definir

	0	1	
1	2	1	0
2	2	3	0
3	3	2	1

Máquina E.

	0	1	
1	1	1	0
2	2	3	0
3	3	2	1

Máquina F.

Fig. 3.1

	0	1	
2	2	3	0
3	3	2	1

Máquina E'

Fig. 3.2

$$S' = \{2,3\}\ ,\ I' = I\ ,\ O' = O,$$

tal que a máquina E', (fig. 3.2) é uma submáquina de E. Os diagramas de estado ou grafos de estado das máquinas E e E' estão representadas na figura 3.3. Note-se que no diagrama de E nenhuma seta entra no estado 1 vinda dos estados 2 ou 3. A partir destes estados não é possível atingir 1.

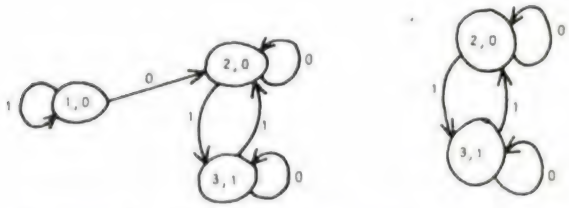


Fig. 3.3 — Grafos de estado das máquinas E e E'.

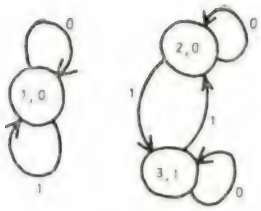


Fig. 3.4 — Diagrama de estado da máquina F.

	0	1	
1	2	1	0
2	1	3	0
3	2	3	1

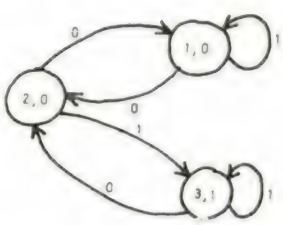


Fig. 3.5 — Máquina G e seu diagrama de estado.

O diagrama de estado da máquina F mostra-se na fig. 3.4. Cada um dos diagramas independentes define uma submáquina de F com o mesmo alfabeto de entrada que F.

A máquina G da figura 3.5 é fortemente conexa como se verifica fàcilmente. No seu diagrama de estado é possível encontrar uma sequência de setas (correspondendo a uma sequência de entradas) entre quaisquer dois estados.

No entanto para esta máquina podemos definir uma submáquina, por exemplo com $S' = \{1,2\}$, mas temos nesse caso que restringir o alfabeto de entrada a $I' = \{0\}$. Uma máquina com um símbolo de entrada é chamada máquina sequêncial autónoma ou relógio.

DEFINIÇÃO 3.3. Duas máquinas do mesmo tipo (ambas de Moore ou ambas de Mealy)

$$M = (S, I, O, \delta, \lambda) \text{ e } M' = (S', I', O', \delta', \lambda')$$

são *isomorfas* se e só se existirem três bijecções (*)

$$f_1 : S \longrightarrow S',$$
$$f_2 : I \longrightarrow I',$$
$$f_3 : O \longrightarrow O',$$

(*) Uma função $f : S \rightarrow T$ é *injectiva* quando $f(s_1) \neq f(s_2)$ quaisquer que sejam $s_1 \neq s_2$ em S. Uma função $g : S \longrightarrow T$ é *sobrejectiva* quando T for o seu contradomínio, isto é, qualquer que seja $t \in T$, existe $s \in S$ tal que $g(s) = t$. Finalmente, $h : S \longrightarrow T$ é *bijectiva* se for simultâneamente injectiva e sobrejectiva.

tal que

$$f_1[\delta(s,u)] = \delta'[f_1(s), f_2(u)]$$
$$f_3[\lambda(s,u)] = \lambda'[f_1(s), f_2(u)].$$

Duas máquinas sequênciais são então isomorfas se e só se forem idênticas excepto quanto aos nomes dos estados, entradas e saídas.

	a	b	
r	r	s	I
s	r	t	II
t	s	t	II

Máquina H

	0	1	
1	1	2	0
2	1	3	1
3	2	3	1

Máquina H'

$f_1: r \to 1$ $f_2: a \to 0$ $f_3: I \to 0$
$s \to 2$ $b \to 1$ $II \to 1$
$t \to 3$

Fig. 3.6 – Máquinas H e H' isomorfas.

As máquinas H e H' da figura 3.6 são isomorfas. Por exemplo

$f_1[\delta(s,b)] = f_1(t) = 3 = \delta'[f_1(s), f_2(b)] = \delta'(2,1) = 3,$
$f_3[\lambda(s,b)] = f_3(\lambda(s)) = f_3(II) = 1 = \lambda'[f_1(s)] =$
$= \lambda'(2) = 1.$

O isomorfismo entre máquinas é o caso mais elementar de duas máquinas que se imitam através do uso de circuitos combinatórios.

Um circuito combinatório é uma máquina sequêncial com um só estado interno e em que portanto a resposta a uma dada entrada não depende da história da máquina. Se possuirmos uma máquina M que é isomorfa de uma máquina M', podemos imitar o camportamento de M' colocando à «frente» e «atrás» de M dois circuitos combinatórios, como mostra a figura 3.7. No caso particular das máquinas H e H', a construção do circuito combinatório para f_2^{-1} mostra-se na figura 3.8.

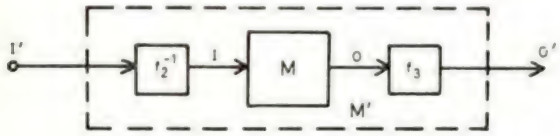


Fig. 3.7 — Representação esquemática de M com circuitos combinatórios para imitar a máquina isomorfa M'.

	0	1	0	1
s'	s'	s'	a	b

$\delta(s',0) = \delta(s',1) = s',$
$\lambda(s',0) = a = f_2^{-1}(0),$
$\lambda(s',1) = b = f_2^{-1}(1).$

Fig. 3.8 — Circuito combinatório para $f_2^{-1}: I_{H'} \to I_H$.

DEFINIÇÃO 3.4. Uma máquina sequêncial

$$M' = (S', I', O', \delta', \lambda')$$

é uma máquina *imagem homomórfica* da máquina

$$M = (S, I, O, \delta, \lambda)$$

se e só se existirem três sobrejecções

$$h_1: S' \to S$$
$$h_2: I' \to I$$
$$h_3: O' \to O$$

tal que

$$h_1[\delta(s,u)] = \delta'[h_1(s), h_2(u)],$$
$$h_3[\lambda(s,u)] = \lambda'[h_1(s), h_2(u)].$$

Vemos assim que o isomorfismo é um caso particular do homomorfismo, em que as funções f_1, f_2, f_3 além de serem sobrejectivas têm de ser injectivas. Para ilustrar estas ideias, consideremos as máquinas J e J' (fig. 3.9).

	a	b	c	
1	5	6	4	2
2	6	5	4	0
3	4	4	2	1
4	3	3	6	2
5	2	1	3	2
6	1	2	3	0

Máquina J

	0	1	
p	s	r	Z_0
q	r	p	Z_1
r	q	s	Z_0
s	p	q	Z_0

Máquina J'

$h_1: 1 \to p$, $2 \to p$, $3 \to q$, $4 \to r$, $5 \to s$, $6 \to s$

$h_2: a \to 0$, $b \to 0$, $c \to 1$

$h_2: 0 \to Z_0$, $1 \to Z_1$, $2 \to Z_0$

Fig. 3.9

Vê-se fàcilmente que h_1, h_2, definem um homomorfismo de J sobre J'. Por exemplo,

$$h_1[\delta(1,a)] = h_1(5) = s = \delta'[h_1(1), h_2(a)] =$$
$$= \delta'(p,o) = s,e$$

$$h_3[\lambda(1,a)] = h_3[\lambda(1)] = Z_0 = \lambda'(h_1(1)) =$$
$$= \lambda'(p) = Z_0.$$

Uma interpretação simples deste conceito de homomorfismo pode ser fornecida observando a máquina J'' representada na figura 3.10.

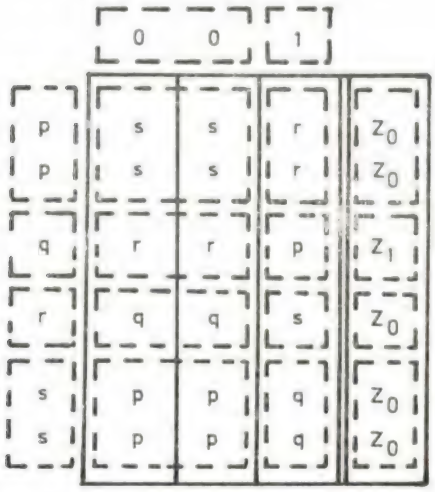


Fig. 3.10 Máquina J''.

Esta máquina foi obtida a partir da máquina J fazendo as substituições nos estados, entradas e saídas, indicadas pelas funções h_1, h_2, h_3.

É fácil de ver agora como se pode obter a máquina J' suprimindo em J'' linhas e colunas iguais. Isto é o mesmo que dizer que se toma para J' um representante dos elementos contidos dentro de cada rectângulo a traço interrompido que desenhámos sobre o quadro de J'', e isso só é possível porque os elementos dentro de cada rectângulo são iguais.

Que os elementos dentro de cada rectângulo são iguais, é-nos garantido pelas duas equações da definição 3.4, isto é, se h_1, h_2, h_3 representam um homomorfismo de M sobre M', é possível construir uma máquina M'' tal como foi construída J''*. Inversamente, se três funções

$$h_1 : S \longrightarrow S'$$

$$h_2 : I \longrightarrow I'$$

$$h_3 : O \longrightarrow O'$$

nos permitem construir M'', então essas funções representam um homomorfismo de M sobre M'. Vemos assim como a existência de uma máquina como J'' nos permite interpretar as duas equações da definição 3.4.

Depois disto é lícito pensar-se que podemos utilizar uma máquina M para imitar a sua imagem homomórfica M', desde que se utilizem dois circuitos combinatórios, um para h_2^{-1} e outro para h_3, tal como fizémos para o caso de duas máquinas isomorfas (fig. 3.7.). Neste caso, porém, como h_2 não tem inverso único, toma-se para h_2^{-1} (u') qualquer u tal que h_2 (u) = u'. Intuitivamente, a máquina M faz mais que M', mas pode ser modificada utilizando circuitos combinatórios para imitar o comportamento da sua imagem homomórfica M'.

DEFINIÇÃO 3.5 — Uma máquina de estado

$$M' = (S', I', \delta')$$

é uma imagem homomórfica da máquina M se e só existirem duas sobrejecções

$$h_1 : S \longrightarrow S'$$

$$h_2 : I \longrightarrow I'$$

tal que

$$h_1 [\delta (s, u)] = \delta' [h_1 (s), h_2 (u)].$$

No que respeita às aplicações, estamos muitas vezes interessados em homomorfismos entre máquinas que têm os mesmos alfabetos de entrada e de saída. Em tais casos, sendo h_2 e h_5 funções identidade, referir-nos-emos a esse homomorfismo como *homomorfismo de estado.*

(Continua)

---

* Com efeito, quaisquer que sejam s,t tal que h_1 (s)= =h_1 (t) e u_1, u_2 tal que h_2 (u_1) = h_2 (u_2), temos h_1 [δ (s, u_1)] = δ' [h_1 (s), h_2 (u_1)] = δ' [h_1 (s), h_2 (u_2)] = = h_1 [δ (s, u_1), u_2)] = δ' [h_1 (t), h_2 (u_1)] = h_1 [δ (t, u_1)] = = δ' [h_1 (t), h_2 (u_2)] = h_1 δ (t, u_2)].

Igualmente se mostra que h_3 [λ (s, u_1)] = h_5 [λ (s, u_2)] = h_3 [λ (t, u_1)] = h_5 [λ (t, u_2)], ou seja, os elementos dentro de cada rectângulo de M'' são iguais.

SP SUÇO-PORTUGUÊS 276/435/AR1

Conserve a água da sua piscina sempre limpa sem mudá-la

EQUIPAMENTO PARA PISCINAS

SETAL
TRATAMENTO DE ÁGUAS

EQUIPAMENTO PARA PISCINAS

Conserve a água da sua piscina sempre limpa sem mudá-la.

A SETAL põe ao seu dispor a possibilidade de ter sempre água pura e cristalina —

— filtros, doseadores, limpadores de fundo, escovas, grelhas, etc.

Acessórios:

escadas, pranchas, trampolins, etc.

Dedicado serviço de assistência após-venda.

Consulte-nos sem compromisso.

SETAL - Sociedade de Estudos e Tratamento de Águas, Lda.
LISBOA
Rua Joaquim António de Aguiar, 73-5.º - Tel. 684183/5
PORTO
Praça D. João I, 25, 1.º-salas 16 e 17 - Tel. 24771

SONDAGENS RODIO, LDA.

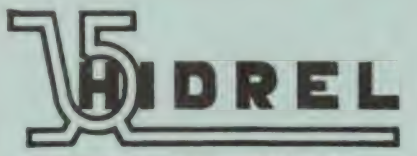
R. S. Bento, 644 - 3.º
LISBOA

PORTO
LUANDA
BEIRA

TELEFONE: 68 80 96

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ESTACAS
PAREDES CONTÍNUAS
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS

RODIO



TÉCNICA DE HIDRÁULICA E DE ELECTRICIDADE, LDA.

Grupos moto e electro-bomba
Grupos electro-bomba submersíveis
Grupos de eixo vertical «JOHNSTON»
Contadores para líquidos «LANGE»
Aparelhagem de medida «METRIMPEX»
Motores Eléctricos
Hidro-injectores
Válvulas e torneiras
Manómetros e Vacuómetros «HAENNI»
Rega por aspersão

ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Rua do Alecrim, 47-A-B — Rua do Lumiar, 113
Telefs. 32 57 00 - 3 59 66 LISBOA Telef. 79 03 55

TABELAS TECNICAS PARA ENGENHARIA CIVIL

6ª edição revista e actualizada

por J.S. Brazão Farinha

Preço 200$00

MANUAL DE HIDRAULICA

por Armando C. Lencastre

2ª edição revista e actualizada

Preço 240$00

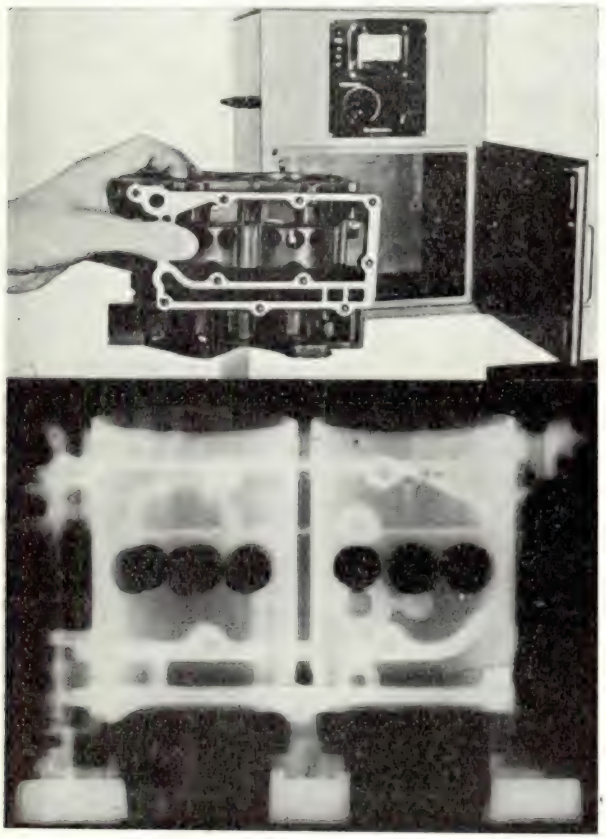
PEDIDOS A "TECNICA"

Desconto de 10% aos nossos assinantes

DO MUNDO TÉCNICO

APARELHO INDUSTRIAL DE RAIO X

Um novo aparelho de radiologia industrial auto-protegido, funcionando a 200 KV, permite radiografar em qualquer local peças metálicas relativamente espessas (até 35 mm de aço). Pode ser equipado com um dispositivo de radioscopia e de um telemanipulador mecânico.



Em cima: peça em liga leve e em segundo plano o Baltobloc

Em baixo: radiografia desta peça

Este pequeno corpo de motor foi radiografado por meio do novo Baltobloc 200 representado na fotografia em segundo plano. Este aparelho funciona a 200 Kilovolts, tensão que permite o controle de peças muito absorventes. Todavia, apesar da tensão muito alta e da elevada energia do raio X, ao utilizar-se este aparelho não se corre qualquer perigo.

O Baltobloc 200 foi concebido para poder ser integrado em conjunto com o equipamento de um laboratório, ou directamente no local onde se fabrica uma peça que é necessário controlar através dos raios X.

O novo Baltobloc 200 KV oferece a possibilidade de controlar espessuras de 35 mm de aço.

A utilização deste aparelho é de tal maneira fácil e simples que foi comparada à de uma máquina de fotocópia, porque as radiografias podem ser realizadas sobre filmes Polaroid que não necessitam de câmara escura e revelam-se em poucos segundos.

Além disso, um dispositivo complementar que se adapta ao Baltobloc permite o exame radioscópico de pequenas peças que se encontram fixadas a um manipulador mecânico, comandado do exterior. Torna-se, então, possível, com este equipamento, examinar directamente um objecto e orientá-lo, à vontade, durante a observação.

Em conclusão, este aparelho alarga consideràvelmente as possibilidades do controle radiográfico, porque a sua segurança integral permite que seja utilizado em numerosas indústrias e laboratórios que não podiam, anteriormente, prever a utilização de um aparelho não protegido. Apresenta, além disso, um grande interesse didáctico tanto para o ensinamento das ciências como para os cursos profissionais.

Inf.: S. A. BALTEAU Beyne-Heusay (Belgique)

MININTERRUPTOR HERMÉTICO SUBMINIATURA

Uma sociedade francesa acaba de fabricar um interruptor de acção brusca de grande precisão: o mininterruptor hermético subminiatura tipo 83.151.001.

A sua grande sensibilidade aos choques, às vibrações, bem como a sua excelente resistência à corrosão fazem dele um aparelho particularmente bem adaptado aos problemas que necessitam de uma grande precisão. É deste modo que ele é mais particularmente desti-

nado à indústria aeronáutica, aeroespacial, de mísseis, de energia atómica ou das telecomunicações.

Este novo mininterruptor hermético subminiatura oferece características de excelente hermaticidade

graças à sua forma cilíndrica que permite uma construção do seu circuito em solda autogénica por resistência eléctrica e também graças às conexões feitas por isolamentos de vidro sobre compressão.

A sua duração de vida superior a 100 000 ciclos, bem como o seu fraco curso diferencial, inferior a 0,05 mm, fazem dele um aparelho de grande precisão.

Outras características:

sensibilidade às vibrações	:	40 — 2.000 Hz 20 g
» aos choques	:	100 g
poder de rotura	:	7 A
temperatura de utilização	:	— 55° C a + 115° C
volume	:	1,35 cm³
peso	:	4 g

célula hermética sob gás controlado.

Admite-se finalmente que este aparelho pode-se adaptar a uma grande gama de acessórios unipolares e multipolares.

Inf.: SOC. CROZET — Valence Fraece.

« CANON POCKETRONIC » CALCULADORA IMPRESSORA DE BOLSO

Conservando as características das máquinas de calcular electrónicas e podendo operar com um máximo de 12 algarismos a «Canon Pocketronic» utiliza três circuitos integrados de capacidade MOS e impressão por efeito térmico.

Suas operações directas são +, —, ×, ÷, cálculos com uma constante e potenciação.

O posicionamento da vírgula é automático a 4 decimais assim como o sinal de —. O tempo máximo de cálculo simples e respectiva impressão é de 2 segundos.

Utiliza como fonte de alimentação um acumulador recarregável de cadium-níckel permitindo uma autonomia de três horas.

A impressão térmica é feita por cabeça sólida de matriz pontual 4 × 5, o que permitiu maior compactibilidade devido à substituição das lâmpadas NIXIE. Imprime também os simbolos operativos. Peso: 820 gr.

«Canon, Press Information»

Resumo dos artigos publicados na Técnica n.º 397

Ano XLV — Abril 1970

Laginha Serafim
Caldeira Rodrigues
Portela dos Santos
Mário Milho

C. D. U. 627.825 : 627.824

O método de ajustamento completo para o cálculo de barragens abóbada

Técnica No. 397 — XLV — 4. 1970, pág. 329-342.

No método de ajustamento completo considera-se a barragem dividida em dois sistemas de elementos — arcos e consolas — que são formados por aduelas. Nas aduelas de cruzamento de arcos e consolas são consideradas todas as forças, internas e externas, e estabelece-se o conjunto completo das equações de equilíbrio. São consideradas, também, as três componentes do deslocamento linear e as seis rotações sofridas pelas normais às faces de cada aduela. Mostra-se que, por razões de continuidade e equilíbrio das tensões de corte, as torções segundo os eixos horizontal e vertical não são independentes e que os deslocamentos horizontais tangenciais e os verticais devem ser considerados simultâneamente.
Os resultados obtidos pela aplicação do método a duas barragens tipo, foram comparados com os obtidos por métodos britânicos recentemente desenvolvidos.
Apresenta-se também comparações com resultados de ensaios em modelo. A concordância é excelente.

Dinís da Gama

C. D. U. 624.131.25 : 518.5

Computer calculation of stresses and rock failure analysis in some Blasting situations

Técnica No. 397 — XLV — 4. 1970, pág. 349-366.

Vários programas de computação são apresentados para o cálculo de tensões induzidas no interior de rochas submetidas à detonação de cargas explosivas esféricas e cilíndricas. Analisam-se diversas geometrias e as distribuições de tensões são obtidas em função do tempo. A energia de deformação associada à onda de choque emitida é considerada e apresenta-se também um programa de computação para a mesma. A análise da rotura da rocha é estabelecida com base num critério dinâmico digno de confiança. Os resultados obtidos estão em concordância com dados conhecidos de arranque de rochas em trabalhos mineiros e experimentais.

H. Duarte-Ramos

C. D. U. 621.315.09

Linhas polifásicas uniformes e lineares em funcionamento sinusoidal permanente equilibrado
II — Simetria, Passividade e Reciprocidade

Técnica No. 397 — XLV — 4. 1970, pág. 343-348.

Apresentam-se as expressões gerais de uma linha polifásica uniforme finita a definem-se as condições de simetria, passividade e reciprocidade, discutindo-se as respectivas consequências nas grandezas fundamentais da linha.

Helder Coelho

C. D. U. 621.394.676

Desenho de um conversor binário - decimal

Técnica No. 397 — XLV — 4. 1970, pág. 367-370.

O presente artigo trata da visualização da informação. É apresentado um conversor binário-decimal usando tubos indicadores.

Synopsis of articles published in «Técnica» nº 397

XLV — April 1970

Dinís da Gama U. D. C. 624.132.25:518.5

Computer calculations of stresses and rock faillure analysis in some blasting situations

Técnica No. 397 — XLV — 4. 970, pag. 349-366.

Various computer programs are reported for the calculation of stresses within a rock mass subjected to the detonation of spherical and cylindrical charges of explosive. Different geometries are analysed and stress distributions are obtained as transient solutions. Reference is made to the radial strain energy associated to the stress wave coming out of the detonation and a computer program is also presented for its calculation.
Rock failure analysis is deduced in terms of a reliable dynamic failure criterion. Results agree with known data from mining and experimental blasting oqerations.

Laginha Serafim
Caldeira Rodrigues
Portela dos Santos
Mário Milho U. D. C. 627.825:627.824

Complet adjustment method for analysing arch dams

Técnica No. 397 — XLV — 4. 970, pag. 329-342.

The method considers the arch dam divided in two systems of elements — arches and cantilevers — which are formed by voussoirs. In the voussoirs of crossing of arches and cantilevers all the internal forces and external loads are considered and the complete set of equations of equilibrium is established. The three components of linear displacements and the six rotations of the normals to the faces are considered. For reasons of continuity and of equilibrium of shear stresses it is shown that the torsions of horizontal and vertical axes are not independent and that the vertical and tangential displacements must be taken simultaneously.
The results obtained by the application of the method to two test dams are compared with those of recently developed British methods Also comparison with results of model tests are presented. The agreement obtained is excellent.

Helder Coelho U. D. C. 621.394.676

Design of a binary decimal converter

Técnica No. 397 — XLV — 4. 970, pag. 367-370.

The present article deals with the display of intormation. It is shows a binary decimal converter using cold cathode tubes.

H. Duarte ramos U. D. C. 621.315.09

Study of linear homogeneous polyphase transmission lines by balenced steady-state sinusoidal regime

II — Symmetry passivity and reciprocity

Técnica No. 397 — XLV — 4. 970, pag. 343-348.

The essential expressions of a finit homogeneous polyphase electrical line are presented. The phisical and mathematical conditions of symmetrical, passive and reciprocal lines are defined and the main caracteristics are discussed.

BIBLIOGRAFIA

Classificadores responsáveis: Geraldo Fernandes, José Oliveira Paulo, Pedro Martins e Raul Pereira da Costa.

Serão criticadas as obras cujo assunto esteja no âmbito da «Técnica» e de que nos sejam enviados dois exemplares.

As revistas recebidas na Redacção, de que se publica uma selecção de fichas de artigos ordenados pela Classificação Decimal Universal, podem ser consultadas na Biblioteca da A.E.I.S.T.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 532.52

Variation du coefficient de trainée d'une sphère roulant le long d'une limite — *R. J. Garde et S. Sethuraman.*

La Houille Blanche, 1969, n.º 7, pág. 727-732.

Este estudo trata do problema da variação do coeficiente de arrasto C_D em função do número de Reynolds Re, de uma esfera rolando em camadas limites caracterizadas por diferentes valores da relação D/K. Foi posto em prática um método empírico que permite determinar a resistência ao rolamento. Os resultados mostram que ele é função de Re, da relação D/K.

C. D. U. 532.52

Orifices de sortie noyés de forme non-rectangulaire. — *Rajaratnam, N.*

Houille blanche (Grenoble) 24 (1): 45-53, Jan. 1969.

As obras hidráulicas tais como tomadas de rio, de canal ou de aquedutos funcionam, por vezes, em regime de escoamento submerso. O estudo das obras de dissipação para um funcionamento seguro e económico, implica um sólido conhecimento pelo menos das características médias do escoamento a jusante destas obras. Os autores apresentam os resultados de um estudo experimental da difusão a jusante de certos orifícios de saída de forma não rectangular funcionando em condições de escoamento submerso.

C. D. U. 532.532

Recherches experimentales sur l'écoulement por déversoir-puits — *Schlag, A.*

Houille blanche (Grenoble) 24: 127-136, Fev. 1969.

O autor estuda a relação entre o caudal Q e a carga H na vertical da coluna e o diâmetro D e o comprimento L desta, ou, em factores adimensionais, entre H/D, L/D e o número de Froude $Q/\sqrt{2g\,D^5}$. Mostra que, conforme o valor deste último número, pode-se tratar de um escoamento por descarregador, a um escoamento por conduta em carga ou, em certas circunstâncias, a um escoamento por orifício. Uma intervenção mínima exterior pode determinar um outro tipo de escoamento por orifício. O autor propõe fórmulas para estes diversos tipos de escoamento.

C. D. U. 532.542.4

Solution analytique pour les régimes d'écoulement turbulent en conduite. — *Zagustin, A; Zagustin, K.*

Houille blanche (Grenoble) 24 (2): 113-118, Fev. 1969.

Apresentam-se novas relações analíticas que definem a distribuição das velocidades, duração de mistura e da viscosidade do turbilhão para um escoamento turbulento numa conduta lisa de secção circular. Estas relações obtém-se a partir de um conjunto de equações diferenciais relativas ao escoamento turbulento e de uma equação do «bilan d'energie pulsatoire». Os resultados teóricos obtidos estão mais de acordo com os dados experimentais do que com os que resultam de teorias propostas anteriormente e, contràriamente a estes últimos, a curva de distribuição das velocidades não apresenta nenhuma singularidade no seu eixo.

C. D. U. 532.543

Surfaces libres non linéaires les canaux découvertes. — *Bellevaux, C.; Fruman, D.*

Houille blanche (Grenoble) 24 (2): 119-122, Fev. 1969.

Apresenta-se um método de cálculo das superfícies livres nos canais descobertos providos de soleiras. Devido à utilização de um plano transformado conhece-se a posição da superfície livre. A condição de equilíbrio não linear desta superfície é encontrada por aproximações sucessivas. Propõem-se dois sistemas de cálculo, um para os escoamentos supercríticos outro para os subcríticos. Um estudo de estabilidade mostra que só o esquema supercrítico é estável; o esquema subcrítico só converge se nele se aplicarem modificações. Alguns exemplos de aplicações esclarecem as possibilidades deste método.

C. D. U. 543.422.05 : 539.186 + 660

Aspectos químicos e instrumentales de las aplicaciones metalúrgicas de la fotometria de elama por absorción atómica — *J. Ramirez Muñoz.*

Revista de Metalúrgia, 78-969, vol. 5, n.º 4, pág. 451-468.

Mantém-se os problemas de natureza química e instrumental que se encontram na análise dos produtos metalúrgicos e dão-se detalhes sobre o comportamento de alguns produtos frequentemente encontrados nestas amostras, assim como as características intrumentais

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES AMADEU GAUDENCIO

ESCRITÓRIO E OFICINAS D. ALEXANDRE BRAGA, 4-A LISBOA

ARQUITECTURA E ENGENHARIA

CONSTRUÇÕES CIVIS

•

BETÃO ARMADO E PRE-ESFORÇADO

•

CARPINTARIA MECÂNICA

•

TRABALHOS DE PINTURA E ESTUQUES

Telefones:

P. P. C. A. 56 00 51

End. Telegráfico: «CONSTRUÇÃO»

DEPÓSITO DE MATERIAIS:

Estrada de Moscavide, 17-19

Telefone 31 20 00

LISBOA

Endereço no PORTO

Rua Casal do Pedro, 7 (Massarelos (Telefone: 69 12 45

TABELAS PARA O CÁLCULO DE BETÃO ARMADO

por

Brazão Farinha e Mexia Heitor

A APARECER BREVEMENTE

PEDIDOS À

técnica

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA

S. A. R. L.

FABRICANTE DE ISOLADORES PARA EQUIPAMENTO DE SUB-ESTAÇÕES TRANSFORMADORES E DE LINHAS DE TRANSPORTE DE ENERGIA EM ALTA TENSÃO

fabrica igualmente

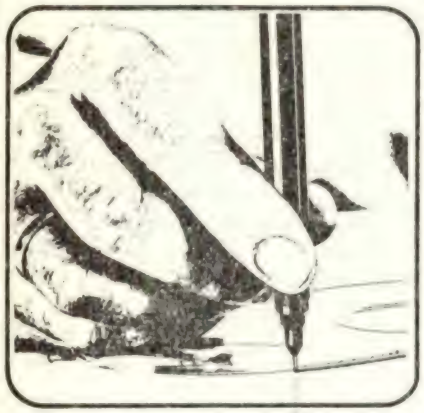
isoladores de baixa tensão
pequena aparelhagem eléctrica em baquelite e porcelana
tubo plástico "Polivoll" para protecção de condutores
material em refractário especial para aparelhos de aquecimento

DANIEL VIDAS

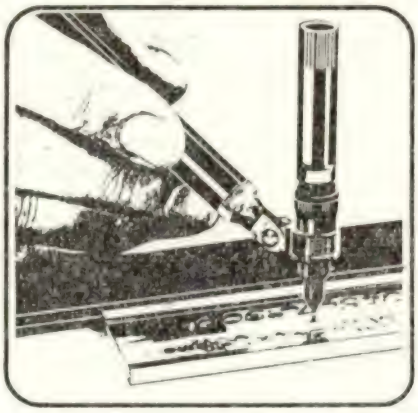
SEDE L. BARÃO DE QUINTELA 3-1º LISBOA
FABRICA-CANDAL-VILA NOVA DE GAIA

EC 61·1

Fará tudo isto com a nova micronorm da rotring



Traçará conforme as normas



Legendará conforme as normas

Desenhos feitos em vários formatos diferentes poderão ter, depois de ampliados a partir de microfilmagens, a mesma escala e espessuras de traço rigorosamente idênticas. Porquê ? Porque as larguras de traço micronorm têm entre elas a relação 1: √2 aquela que há entre os vários formatos de papel normalizado para desenho.

Corresponderá a todas as exigências da microfilmagem

Doravante poderá utilizar um só sistema rotring para traçar e legendar: o micronorm. Corresponde às novas normas alemãs DIN 15, 16 e 17, alínea preferencial 1, e conjuntamente com os escantilhões micronorm representa uma orientação para o futuro, por tomar em consideração a microfilmagem de desenhos.

Além disso, micronorm dá-lhe todas as garantias, como qualquer outro produto rotring: conformidade absoluta com as normas, nitidez rigorosa das linhas, ponteiras de duração longa, tubo de escrita rebaixado evitando que a tinta alastre por baixo das réguas, ponteiras permutáveis, sempre prontas para usar (vedação hermética das tampas).

rotring facilita o desenho

A venda nas casas da especialidade

FUNDAMENTOS DE RADIOCOMUNICAÇÕES

pelo Prof. Abreu Faro

Preço 30$00

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

Pelo Prof. Herculano de Carvalho

Preço 90$00

CALCULO DE PORTICOS

por G. Kani

Preço 50$00

DICIONÁRIO DE UNIDADES E TABELAS DE CONVERSÃO

pelo Eng.º Vasco Costa e Osvaldo Francês

Preço 35$00

Pedidos à "Técnica"

Desconto: 10 % aos assinantes

que se seguirem para obter resultados aceitáveis, especialmente quando se trabalha com baixas concentrações de muitos desses produtos. Incluem-se alguns exemplos e observações sobre a fase de preparação de amostras.

C. D. U. 620.182:621.74

Introdução à prática de polimento químico na preparação de amostras metalográficas — *Maria da G. Paes de Faria.*

Fundição — Revista APF, n.º 40, 1970, pág. 13.

A autora descreve a aplicação do processo de polimento químico à preparação de amostras metalográficas de latões, bronzes de alumínio e aços de diferentes teores de carbono.

Indica a composição dos banhos usados e compara as microestruturas observadas nas mesmas amostras polidas pelo método mecânico e químico, constatando equivalência de resultados com economia de tempo neste último processo.

C. D. U. 621.3.064:621.313.322

Alternateur destiné aux essais de court-circuit — *Kranz Rolf-Dictor-S. Willy.*

Revue Brown Boveri, 12-68, vol. 55, n.º 12, págs. 697-701.

A Sociedade Brown Boveri construiu para uso próprio o alternador descrito neste artigo. Estes alternadores são destinados a equipar laboratórios e plataformas de ensaio para disjuntores. São encarregados de alimentar energèticamente os diferentes circuitos servindo ao ensaio dos disjuntores, e capazes de fornecer fontes de energia reactivas muito importantes, mas que só duram alguns centésimos de segundo e correntes de curto-circuito de alguns segundos.

C. D. U. 621.357.8.08:620.198 = 6

Comportamento de la película anódica en el ensayo de inmersión acética — *R. Lizarbe, V. Eraso, S. Felin.*

Revista de Metalurgia, 7-8-969, vol. 5, n.º 4, págs. 412-416.

Estuda-se a influência dos diversos parâmetros de anodização sobre as perdas de peso experimentadas pela capa de óxido numa solução de ácido acetico-acetato sódico.

Considera-se a relação existente entre as perdas de peso e tempos de imersão.

C. D. U. 621.778-426+539.419

Esfuerzos requeridos en el processo de trefila — *E. R. Abril.*

Revista de Metalurgia, 7-8-969, vol. 5, n.º 4, págs. 393-400.

Conseguiu-se melhorar a exactidão de uma fórmula do mesmo autor para o cálculo do esforço de trefilado, introduzido um novo termo que depende do ângulo da fieira. Ao aplicar a fórmula corrigida, os erros de calculo mantêm-se abaixo de 10% segundo se pode comprovar experimentalmente.

C. D. U. 621.785.616.019:548.4

Cinética de eliminación de vacantes después del temple — *J. J. Regidor, A. Gil.*

Revista de Metalurgia, 8-966, vol. 5, n.º 4, págs. 371-378.

Com a ajuda de um programador e calculador electrónico, simularam-se as condições em que se encontra um metal depois da têmpera e estudou-se a eliminação de defeitos durante recozimentos anteriores. Obtiveram-se séries de curvas para os possíveis valores das energias de activação. Do estudo das curvas teóricas se deduz a forma como há-de ser feita a comparação com resultados experimentais.

C. D. U. 622.75-18.622.341.1 + 622.366.12

Aprovechamento integral de las menas presentes en los minerales magnéticos del suroeste de España — *J. L. Nino, R. Martin F. Garcia, A. Fillol, Hontoria. J.*

Revista de Metalurgia, 7-8-969, vol 5, n.º 4, págs. 417-434.

Neste trabalho sintetizam-se os estudos efectuados que abrangem desde a preparação, concentração e aglomeração dos minérios ferrosos até à recuperação por diversos processos enriquecedores de outros minérios não férreos, pirite e calcopirite, contidos nos resíduos obtidos depois de se haver procedido à concentração do mineral de ferro.

Expõem-se os diversos diagramas de fluxo possíveis para o aproveitamento integral e discutem-se técnica e econòmicamente as mobilidades dos mesmos.

C. D. U. 624.131.522

Calcul des fondations annulaires et circulaires d'ouvrages de révolution. — *Jalil, W. A.*

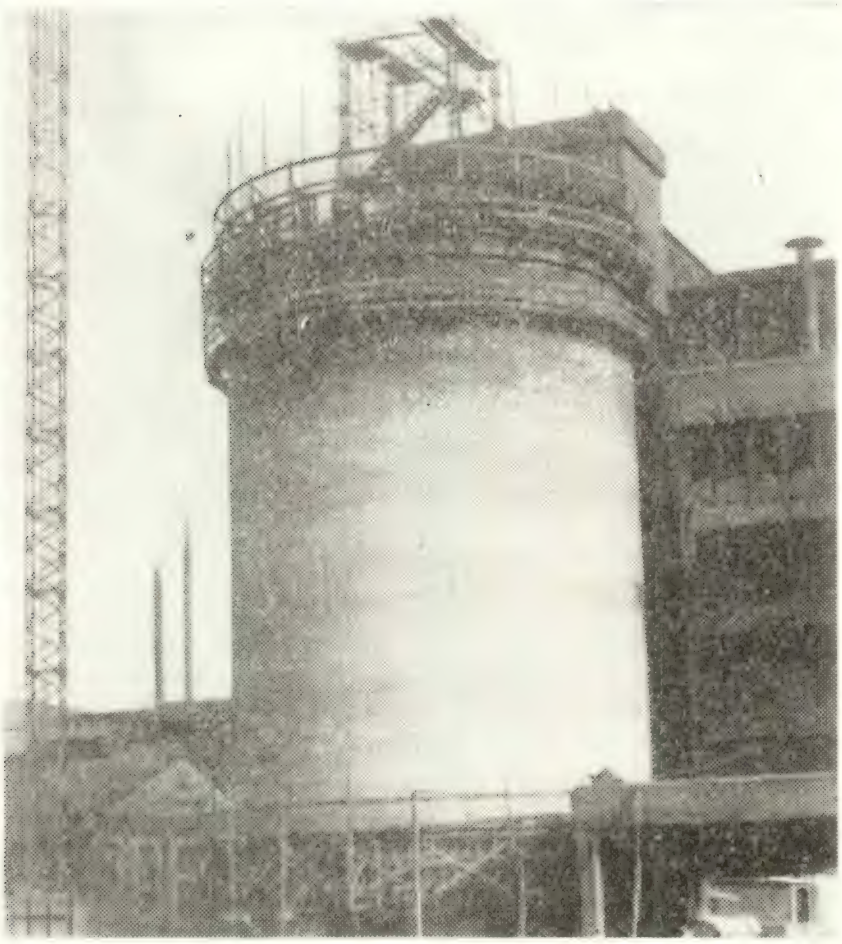
Annls. Inst. tech. Batim. (Paris) 22 (258): 840-870, Jun. 1969.

Algumas estruturas possuem um eixo de revolução, tais como chaminés, silos e depositos de águas, elevados que podem ser fundados sobre sapatas circulares. Por razão de economia, estas sapatas apresentam muitas vezes uma forma anular. Este artigo tem por objecto o cálculo das sapatas anulares tendo uma rigidez finita, situada em meio «elástico» e sujeitas ao momento de derrubamento produzido pelas forças horizontais que actuam sobre a obra. Permite a avaliação das tensões no solo bem como a determinação dos momentos máximos de flexão e de torsão. O estudo refere igualmente as sapatas anulares sobre estacas. Em anexo, indica-se um método geral de cálculo da armadura de ferro das sapatas anulares e circulares pelo método do equilíbrio limite. Estabeleceram-se quadros e ábacos com vista a facilitar os cálculos numéricos. Expõe-se a utilização prática da teoria geral com auxílio de vários exemplos numéricos de cálculo. Uma comparação das vantagens e inconvenientes das sapatas maciças ou anulares permite orientar a escolha da forma da sapata, sob o ponto de vista económico.

ENGIL
uma empresa que se afirma na qualidade e diversidade do que realiza

CONSTRUÇÃO CIVIL E INDUSTRIAL PONTES SILOS

Representante para o Continente e Ultramar
do sistema de cofragem deslizante «Siemcrete IN» (Patente Siemens)



Silo de cimento para a Empresa de Cimentos de Leiria
para 8000 ton. com 15 m de diâmetro e 37 m de altura
Executado com cofragem deslizante «SIEMCRETE»

sociedade de construção civil sarl

AVENIDA ELIAS GARCIA 162 – 6° LISBOA 1

C. D. U. 624.138.5

Injections Spécials: réparation, consolidation, étancheité. — *Carron, C.*

Annls. Inst. tech. Batim. (Paris), 22 (261): 1307-1318, Set. 1969.

As injecções especiais com argamassas à base de resinas orgânicas desenvolvem-se há alguns anos e dividem-se, para simplificação, em duas categorias principais: a) Resinas precondensadas sem dissolvente. Trata-se de resinas termo-estáveis que polimerizam a frio sob a influência de um endurecedor (poliepoxídico, poliuretano), de um catalizador (poliéster, polisulfureto) ou mesmo, por vezes, da simples humidade do ar, servindo então a água de catalizador (silicones e certos poliuretanos). Estas resinas, uma vez catalizadas, adquirem uma grande resistência associada, por vezes, a uma grande elasticidade. Servem principalmente, no âmbito da injecção, para o tratamento de betões fissurados ou de má qualidade. b) Monómeros solúveis na água. Certos monómeros do tipo acrilamidos, ferroplastos e aminoplastos, têm a propriedade de poder ser dissolvidos na água em qualquer proporção e de polimerizar a frio sem se separar da água da mistura. As características mecânicas destas soluções aquosas depois da polimerização são evidentemente muito mais reduzidas que as das resinas sem dissolvente, pelo que esta classe de produtos é especialmente reservada à impermeabilização ou à consolidação dos solos pulverulentos finos. Tem, com efeito, a propriedade interessante de serem muito mais fluidos que todos os produtos tradicionais (à base de cimento, silicato, lignosulfito, etc.).

C. D. U. 624.152 6

Paredes contínuas de betão armado moldadas no solo — *António Gomes Samuel.*

Engenho, 1-3-670, vol. 24, n.º 1, pág. 1-10.

Pretende-se, no presente artigo, dar uma ideia geral do que é uma parede moldada no solo e dos processos usuais de a executar.

Faz-se referência aos tipos fundamentais de equipamento utilizável e os campos de aplicação em que o sistema pode ter especial interesse.

Ilustra-se a exposição com esquemas e aspectos de duas obras recentes executadas no País por este processo.

C. D. U. 624.46

Fluage et retrait du béton des constructions précontraintes sous l'effet des temperatores extrêmes — *M. R. Peltier.*

Annales de L'institut tecniques du bâtiment et des travaux publics, 2-970, n.º 266, pág. 5-33.

Houve várias individualidades a concorrer com as suas comunicações para a resolução deste problema. Tiram-se conclusões com gráficos. Pergunta-se quando se fala de deformação de que se trata exactamente, da fluage, sobre qual carga?

Estuda-se a definição da armadura de elementos em betão armado em função da temperatura e para diferentes proposições da armadura. Apresentam-se duas memórias sobre o comportamento do betão a temperaturas elevadas, conclui-se que a fluage cresce com a temperatura até 170 A (71 C).

C. D. U. 627.43

El proyecto del aprovechamiento hidro electrico del Bayano em Panama — *Luis Fedriani Ysern.*

Revista de Obras Públicas, 3-970, n.º 3059, pág. 185.

O aproveitamento consegue-se criando uma albufeira de 4000 H m³ de capacidade mediante a construção de uma barragem de gravidade, no rio Bayano e outra de materiais soltos num afluente do mesmo. Àparte estas barragens o projecto inclui uma central de 200 000 Kw numa linha de 81 km de longitude a 230 kv, com suas respectivas subestações de saída e chegada, assim como o estudo dos acessos, etc.

O autor apresenta uma maquete da barragem principal e central, uma galeria para investigação do terreno, e gráficos com a área de aproveitamento da albufeira. Refere-se às características gerais da zona assinalando as dificuldades que houve em vencer o terreno e ter que transportar o equipamento num rio de difícil navegação.

C. D. U. 628.13

La station de traitement des eaux de limoges (France) — *André Grelard.*

Acier Stahl Steel, 10-969, vol. 10, pág. 413-421.

As obras realizam-se para uma estação de águas, prevendo-se o tratamento de 78.000 m³ por dia, repartindo-se a obra em quatro funções diferentes: Bombagem, filtração, tratamento, stocagem, administração e controle eléctrico. A infraestrutura e os reservatórios são realizados em betão.

C. D.U. 669.1 : 413.164

Contribuição para adopção de um critério de classificação de ligas fundidas ferrosas — sua aplicação em estudos sobre a normalização nacional de peças fundidas — *J. M. Barreiros Leal.*

Fundição — Revista A P F, 1970, n.º 40, pág. 23.

O autor defende o critério alemão do Prof. Wittmoser de classificação de ligas fundidas ferrosas apresentando e comentando ideias gerais, apreciando as razões das sub divisões sugeridas, descrevendo algumas críticas já divulgadas por metalurgistas estrangeiros e acrescentando a sua opinião sobre o critério seguido.

Finalmente sugere-se a adopção de um qualquer de dois esquemas de classificação apresentados nos trabalhos nacionais de normalização de peças fundidas em ligas ferrosas.

C. D. U. 669 131.8 : 621.74

Ferro maleável perlítico — *Jorge Vasconcelos.*

Fundição — Revista A P F, 1970, n.º 39, pág. 13.

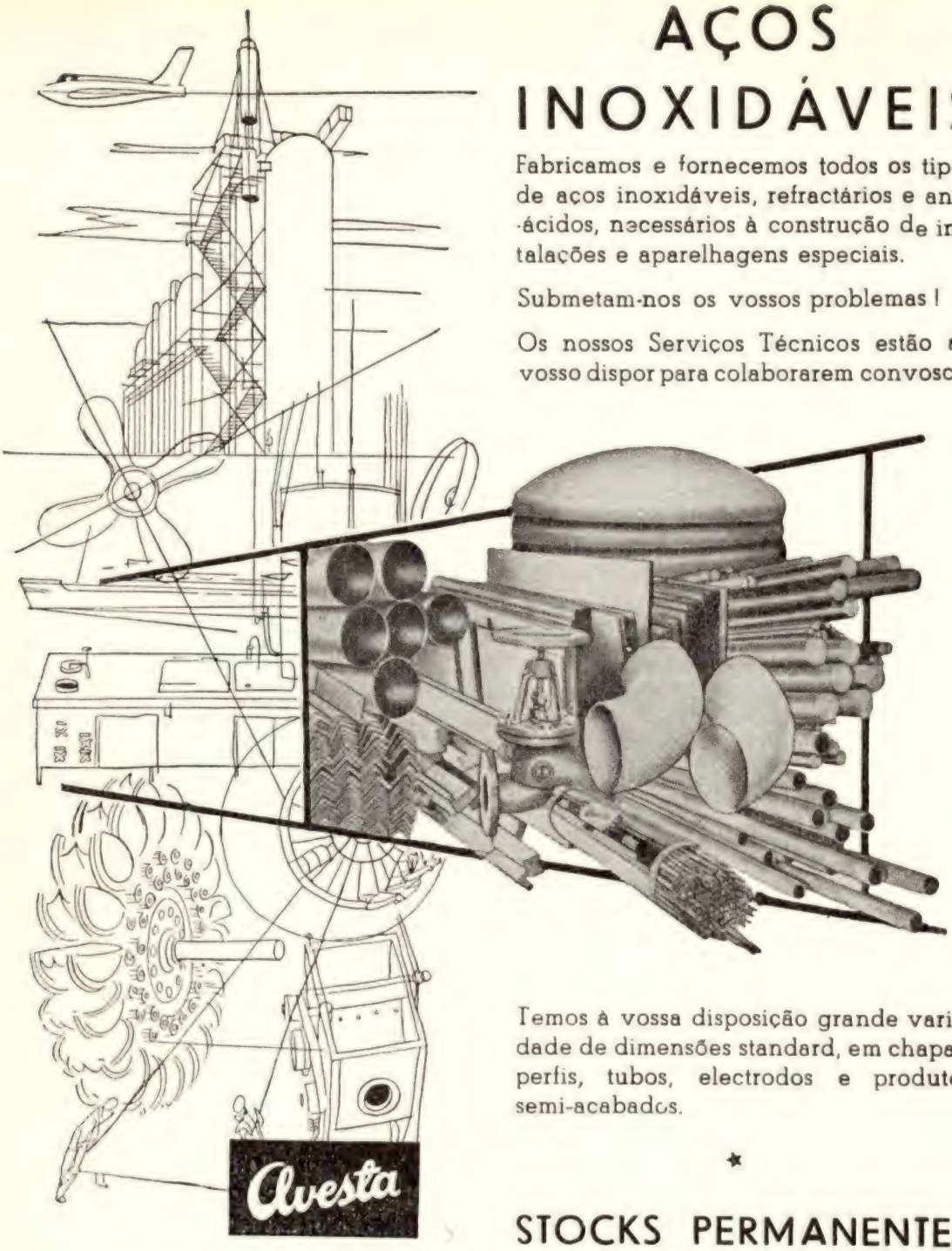
Após breve introdução à metalurgia do ferro maleável perlítico, são esquemàticamente indicados alguns processos de fabrico deste material.

AÇOS INOXIDÁVEIS

Fabricamos e fornecemos todos os tipos de aços inoxidáveis, refractários e anti-ácidos, necessários à construção de instalações e aparelhagens especiais.

Submetam-nos os vossos problemas!

Os nossos Serviços Técnicos estão ao vosso dispor para colaborarem convosco



Temos à vossa disposição grande variedade de dimensões standard, em chapas, perfis, tubos, electrodos e produtos semi-acabados.

★

STOCKS PERMANENTES

AVESTA JERNVERKS AKTIEBOLAG
AVESTA — SUÉCIA

Representantes Exclusivos para Portugal e Ultramar:

A. JOHNSON & Co (PORTUGAL), L.DA

SEDE EM LISBOA:
Praça José Fontana, 11-1.º
Telef. 537015-537016-537017-537018

FILIAL NO PORTO:
R. Dr. António Granjo, 160/168
Telef. 54666

É apresentado o processo de tratamento por reaquecimento de maleável perlítico, sendo reportados alguns dos ensaios inicialmente realizados bara abtenção deste material, apresentando diagrama dos resultados mecânicos obtidos.

O autor apresenta três casos concretos de produção de ferro maleável perlítico obedecendo a três tipos diferentes de especificações.

Conclui-se que a reprodutibilidade, facilidade de ajuste a variadas especificações e extensa gama de propriedades mecânicas conferem a este material uma extrema versabilidade de aplicação.

C. D. U. 663.63

Desalación de las águas del mar y salobres — *F. Goded Echevarria.*

Dyna, 10-969, vol. XLIV, n.°, pág. 357-370.

Neste trabalho estudam-se os aspectos mais importantes do problema de dessalinação da água do mar, começando por expor a situação actual nas diversas zonas da terra assim como os custos hoje em dia em vigor para este produto, prosteriormente estudam-se sumàriamente a energia mínima teórica a consumir, assim como a necessária na prática em cada um dos diversos métodos de dessalinação.

Em seguida resumem-se as ideias essenciais dos mais importantes métodos apresentando as vantagens e inconvenientes de cada um deles, assim como o seu estado actual.

C. D. U. 666.97.03

Recherches expérimentales sur l'accélération du durcissement du béton par le chauffage — *M. Mamillan.*

Annales, III-IV-70, n.° 267-68, pág. 133.

O aquecimento do betão, permite atingir mais ràpidamente uma resistência suficiente para permitir a manutenção dos elementos. A resistência dos betões não é melhorada com o tratamento pelo calor, traduz-se apenas numa aceleração da reacção. Este estudo permite concluir que de acordo com as utilizações projectadas e as exigências da obra, existe a possibilidade de adaptar um programa de tratamento pelo calor, cujos efeitos estão em relação com a qualidade do cimento e a compacidade do betão.

C. D. U. 669.15,26,28.018.29

Templabilidad y condiciones de utilizacion de los aceros finos de construción con 1 % cromo y 0,20 % molibdenio — *J. M. Belló, M. P. Andrés e F. Munoz del Corrol.*

Revista Metalurgia, 7-8-969, vol. 5, n.° 4 pág. 401-411.

Estuda-se a temperabilidade e as propriedades mecânicas que podem conseguir-se nos aços finos de construção da série F-1250 da Tabela de especificações do CENIM de 1966. Dedica-se especial atenção ao conhecimento dos diâmetros dos varões a que devem limitar-se no seu emprego quando se querem conseguir estruturas de têmpera aptas para diversas condições de serviço.

C. D. U. 669.293 : 620.1

Revelação de deslocamentos em nióbio pelo método das figuras de ataque — *J. M. Cunha Monteiro e H. Carvalhinhos.*

Publicações do Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, 1969, n.° 99.

Estuda-se o efeito de temperatura e do tempo na velocidade de diminuição da densidade de deslocamentos em nióbio deformado a frio, estabelecendo-se uma técnica de revelação dos deslocamentos por dissolução electrolítica. Verificou-se a influência de orientação dos grãos nas condições de revelação e definiram-se as condições de preparação das provetas para a obtenção da maxima informação possível sobre a densidade e distribuição dos deslocamentos.

A publicação inclui várias fotografias esclarecedoras.

C. D. U. 669.45.75 — 157.8 + 539.54

La influência de la temperatura de envejecimiento y la compósición sobre la cinética de endurecimiento de aleaciones de plomo com 0,5 a 3 % de antimónio — — *M. Aballe e M. Torralba.*

Revista Metalurgia, 7-8-969, vol. 5, n.° 4, pág. 385-392.

Seguiu-se mediante medidas de dureza, a cinética de envelhecimento de ligas de chumbo com conteúdos de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 % em peso de antimónio, a temperaturas de 50, 80 e 110° C. As provetas solubilizaram-se e temperaram-se em água antes de iniciar-se os ensaios. As medidas de dureza completaram-se com ensaios metalográficos realizados durante o envelhecimento para o que se desenvolveu uma técnica de ataque rápido a estas ligas.

C. D. U. 676.2.052 : 621.382.233

Accionamientos polimotor de máquinas de papel — — *Gerhart Klatte.*

AEG-Telefunken al dia, 3-969, n.° 3, pág 97-99.

Descrevem-se a execução normal na actualidade de accionamentos polimotor de máquinas de papel. Ao mesmo tempo trata-se duma maneira especial o acoplamento por blocos de tiristores e explica-se a sua variedade e capacidade de adaptação às diversas condições.

C. D. U. 72.011

Pavimentos com vigas cruzadas — *João R. Matamouros.*

Engenho, 10-12-969, vol. 24, n.° 4, pág. 167 171.

Trata-se da dedução das fórmulas dos momentos flectores para tais casos de aplicação de vigas cruzadas, dentro de determinados condicionamentos de base, na resolução do problema de cobrir grandes áreas com lajes de betão armado, sem recorrer a elevada densidade de pilares.

Incluem-se valores tabelados para relações dos lados dos painéis que permitem, ràpidamente, obter os momentos isostáticos das vigas cruzadas.

LISTA CLASSIFICADA DE ANÚNCIOS

Neste número continua a «Técnica» a sua secção de publicidade — a *lista classificada de anúncios* — destinada a facilitar a procura por parte dos clientes.

Estas páginas amarelas ficam abertas aos nossos leitores, que nelas podem anunciar a sua firma e endereço, ao preço de 50$00 por número. Quanto aos nossos anunciantes, é com muito gosto que lhes concedemos grátis a inscrição na lista.

CONSTRUÇÃO CIVIL

CONSTRUTORES CIVIS

— **ENGIL**
Av. Elias Garcia, 162-6.° Tel. 76 51 10/17

— **Construções Técnicas, Lda.**
P. do Município, 13-3.° — Tel. 36 65 06

— **Fundações Franki, Ltd.**
R. Braamcamp, 13-3.° — Lisboa — Tel. 53 41 12.

— **Soc. Const. Amadeu Gaudencio, Ld.ª**
R. Dr. Alexandre Braga, 4-A — Lisboa
Telef. 4 31 91 — 92 — 93.

— **Soc. de Pré-Fabricação e Obras Gerais Novobra**
Av. Estados Unidos da América, 100-5.° D
— Telef. 77 48 32 / 76 64 46 — Lisboa 5

ESCAVADORAS E TRACTORES

— **Guedes & Almeida**
Rua Aurea, 181-2.° — Tel. 32 78 45 — Lisboa 2

FUNDAÇÕES

— **ENGIL**
Av. Elias Garcia, 162-6.° Tel. 76 51 10/17

— **Construções Técnicas, Lda.**
Pr. do Município, 13-3.° — Tel. 36 65 06

— **Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª**
Av. da República, 42-8.°
— Telef. 77 70 86/7 e 77 12 65 — Lisboa

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
R. S. Pedro de Alcantara, 1 — Tel. 32 46 93 e 21 32 56 — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques — Beira.

— **Fundações Franki, Lda.**
R. Braamcamp, 13-3.° — Lisboa — Tel. 53 41 12.

— **Johann Keller**
Av. Costa Pinto, 8-1.° Esq. - Cascais - Tel. 28 44 21

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco, Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 56 11 71/72/73.

— **Sondagens Ródio**
Rua de S. Bento, 644-3.° — Lisboa
Tel. 68 80 96/7/8

— **Sopecate**
R. do Arsenal, 146, 2.° — Lisboa.
Tel. 3 40 10 - 32 02 08

IMPERMEABILIZAÇÃO

— **Empresa de Produtos Asfálticos**
R. Filipe Folque, 10-1.° — Lisboa — Tel. 73 01 56.

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

— **Centro Técnico Hospitalar — Divisão Zeiss**
Av. da República, 84 — Tels. 77 81 66/7 — Lisboa

— **Wild Portugal, Ld.ª**
Praça das Águas Livres, 8, s/l 6 — Lisboa 2 — Tel. 68 91 12.

ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

— **SETH, Ld.ª**
R. Filipe Folque, 10-1.° — Lisboa — Tel. 73 01 56

SONDAGENS

— **Construções Técnicas, Lda.**
Pr. do Município, 13-3.° — Tel. 36 65 06

— **Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ld.ª**
Avenida da República, 42-8.°
Telef. 77 70 86/7 e 77 12 65 — Lisboa

— **Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações**
R. S. Pedro de Alcântara, 1 — Tel. 32 46 93 e 21 13 56 — Lisboa — Luanda — Lourenço Marques — Beira.

— **Fundações Franki, Lda.**
R. Braamcamp, 13-3.º — Lisboa — Tel. 53 41 12

— **Johann Keller**
Av. Costa Pinto, 8-1.º Esq. - Cascais - Tel. 28 44 21

— **Sondagens e Fundações, A. Cavaco, Lda.**
R. Rodrigo da Fonseca, 62-r/c — Lisboa 1
Tel. 56 11 71/72/73.

— **Sondagens Ródio, Ld.ª**
Rua de S. Bento, 664-3.º — Lisboa
Tel. 68 80 96/7/8.

— **Sopecate**
R. do Arsenal, 146-2.º — Lisboa.
Tel. 3 40 10 — 32 02 08

CONSTRUÇÕES METALO-MECANICAS

CONSTRUTORES METALO-MECANICOS

— **COMETNA** — R. Academia de Ciências, 15 — — Lisboa — Tel. 32 00 01

— **Construções Metalo-mecânicas MAGUE Ld.ª** — Alverca

— **Mendes de Almeida, Lda.**
Av. 24 de Julho, 52-A-G — Telef. 66 67 10 — Lisboa

— **Sociedade Industrial Metalúrgica**
R. de S. Tiago, 1

EQUIPAMENTO ELECTRICO

— **Construções Eléctricas Schréder, Ltd.**
Pr. José Fontana, 25-3.º E. — Tel. 56 10 01/2/3 — Lx.

— **Electrotécnicos Reunidos**
Avenida João XXI, 64 — Lisboa.

— **J. F. de Azevedo e Silva & C.ª, Ld.ª**
Rua S. Francisco Sales, 2, 1.º — Tel. 65 41 65 — Lisboa.

— **Hidrel**
R. do Alecrim, 47-A-B
Tels. 32 57 00 - 3 59 66 — Lisboa

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Philips**
Rua Joaquim António de Aguiar, 66 — Lisboa
Telef. 68 31 21

— **Siemens — Companhia de Electricidade**
Avenida Almirante Reis, 65
Telef. 53 69 21/0 — Lisboa

— **Soc. de Elec. Brown Boveri**
R. Sá da Bandeira, 481-2.º — Tel. 2 34 11 — Porto

— **SEPSA - Sociedade Construções Electro-Mecânicas**
Leça do Balio

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto.
Tel. 2 76 76/9
R. Rosa Araújo, 35 — Lisboa — Tel. 53 11 81/7

DISTRIBUIÇAO DE ENERGIA

— **União Eléctrica Portuguesa**
R. Alexandre Herculano, 244 — Porto
Tel. 2 76 76/9
R. Rosa Araújo, 35 — Lisboa — Tel. 53 11 81/7

BATERIAS

— **Tudor**
Av. Fontes Pereira de Melo, 12 — Lisboa
Tel. 5 19 47

ELÉCTRODOS

— **Electro-Arco, Ld.ª**
R. Silva Carvalho, 220 — Lisboa — Tel. 68 36 46
R. do Bolhão, 216 — Porto — Tel. 2 12 77.

INSTALAÇÕES

— **Construções Eléctricas Schréder, Ltd.**
Pr. José Fontana, 25-3.º E. — Tel. 56 10 01/2/3 — Lx.

— **Isolux, Lda.**
Largo do Campo Pequeno, 21, 4.º Esq
Telef. 77 00 30/8/9 — Lisboa
Rua Dr. Alfredo Magalhães, 110, 2.º D.
Telef. 2 07 23 — Porto

— **J. F. de Azevedo e Silva & C.ª, Ld.ª**
Rua S. Francisco Sales, 2, 1.º — Tel. 65 41 65 — Lisboa.

— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86 51/2/3 — Lx.

— **Jayme da Costa, Ld.ª**
R. dos Correeiros, 14 — Lisboa — Tel. 32 70 35.
Praça da Batalha, 12 — Porto — Tel. 2 28 12.
Cx. Postal 5174 — Luanda — Tel. 47 43.

— **Siemens — Companhia de Electricidade**
Avenida Almirante Reis, 65
Telef. 65 41 65 — Lisboa.

— **SEPSA - Sociedade Construções Electro-Mecânicas**
Leça do Balio

— **Standard Electrica**
Av. da Índia — Tel. 63 81 71 — Lx.

ISOLAMENTOS

— **Empresa Electro-Cerâmica, S.A.R.L.**
L. Barão de Quintela.

SOLDADURAS

— **Electro Arco**
R. Silva Carvalho, 239 — Lisboa
R. do Bolhão, 216 — Porto

— **J. Roma**
Praça da Figueira, 86/51/2/3 — Lx.

TELECOMUNICAÇOES

— **Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos, S.A.R.L.**
R. Rodrigo da Fonseca, 110, r/c — Lisboa — Tel. 68 60 72.
R. Sá da Bandeira, 766-1.° E — Porto — Tel. 2 48 18

— **Standard Electrica**
Av. Índia — Tel. 63 81 71 — Lx.

— **Philips**
Rua Joaquim António de Aguiar, 66 — Lisboa
Tel. 68 31 21

EQUIPAMENTO INDUSTRIAL

— **COMETNA**
R. Academia de Ciências, 5 — Tel. 32 00 11

— **Construções Metalo-Mecânicas Mague, Lda.**
Alverca do Ribatejo

— **DEMAG — Soc. Comercial Romar**
Trav. da Galé, 9 — Tel. 63 56 70 — Lisboa.
Santa Iria de Azoia

— **Guedes & Almeida, Lda,**
R. Aurea, 181-2.° — Tel. 32 78 45 — Lisboa

— **Hidrel**
R. do Alecrim, 47-A-B
Tels. 32 57 00 - 3 59 66 — Lisboa

— **Kristeller & Lichtenstein, Lda.**
R. dos Anjos, 69-3.° E. — Tel. 541 01 — Lisboa

— **Mendes de Almeida, Lda.**
Av. 24 de Julho, 52-A-G — Tel. 66 67 10 — Lisboa

CORRENTES

— **Auto-Lusitana**
Av. da Liberdade, 73-79 — Lisboa

— **Harker Sumner**
L. do Corpo Santo, 18
Tel. 32 48 23 — Lisboa.

— **S. K. F.**
Rua da Alegria, 66-A — Lisboa
Tel. 36 23 01

INDÚSTRIAS QUÍMICAS

— **Mobil Oil**
Rua Horta Seca, 15 — Lisboa
Tel. 3 01 81

— **SETAL — Soc. de Estudos e Tratamento de Águas**
Rua Joaquim António de Aguiar, 73-5.° — Lisboa
Tel. 68 11 83

FELTROS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais**
Estrada de S. João — Ovar

TEXTEIS

— **FANAFEL — Fábrica Nacional de Feltros Industriais, Ld.ª**
Estrada de S. João — Ovar.

TINTAS

— **Mendes de Almeida, Lda.**
Av. de 24 de Julho, 52-A-G
Telef. 66 67 16 — Lisboa

LIVROS TÉCNICOS

— **TÉCNICA**
Avenida Rovisco Pais — Lisboa
Tel. 77 54 49

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

AÇOS ESPECIAIS

— **A. Johnson & C.ª (Portugal), Ld.ª**
P. José Fontana, 11-1.° — Lisboa — Tel. 53 70 15/ /6/7/8.
R. Dr. António Granjo, 160/168-Porto-Tel. 5 46 69

— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa.

BETÃO

— **Empresa Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa. — Tel. 5 91 61/66.

— **Heliaço**
R. S. Julião, 41-4.º — Tel. 36 78 17 — Lisboa.

— **Sociedade Portuguesa CAVAN**
R. de D. Estefânia, 94-A — Lisboa — Tel. 4 78 12 e 5 01 29.

CIMENTOS

— **AGUIAR E MELO, LDA.**
Praça do Município, 13-1.º — Tel. 32 11 51/2 Lx.

— **CIBRA — Cimentos Brancos**
Tv. do Corpo Santo, 15 — Lisboa — Tel. 32 04 64.
R. do Bonjardim, 205 — Porto — Tel. 2 57 79.

— **CIMIANTO**
Av. Fontes Pereira de Melo, 14 — Tel. 53 11 61

— **Empresa de Cimentos de Leiria**
R. Braamcamp, 7 — Lisboa — Tel. 5 91 61/66.

— **Secil**
R. do Comércio, 156—Lisboa 2 — Tel. 32 82 01/2/3

MATERIAIS PRÉ ESFORÇADOS

— **CIMIANTO**
Av. Fontes Pereira de Melo, 14 — Tel. 53 11 61

— **Soc. de Pré-fabricação e Obras Gerais Novobra, Ld.ª**
Av. E. U. da América, 100-5.º-E.
Tel. 77 48 32/ 76 64 46 — Lisboa.

ARTIGOS DE ESCRITÓRIO E ESCOLAR

MATERIAL DE DESENHO E TOPOGRÁFICO

— **Centro Técnico Hospitalar -Divisão Zeiss**
Av. da República, 84 — Lisboa
Tel. 77 81 66/67

— **Rotring**
Representante: Artur Westheimer, Lda.
Rua Maria aos Anjos, 48-r/c. — Lisboa 1

— **Wild Portugal**
Praça das Águas Livres, 8-s/l.
Tel. 98 91 12 — Lisboa.

DIVERSOS

— **GECTI — Gabinete de Especialização e Cooperação Técnica Internacional Lda.**
Av. da República, 47-6.º — Lisboa
Tel. 76 34 65/77 21 54

BIBLIOTECA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA LISBOA

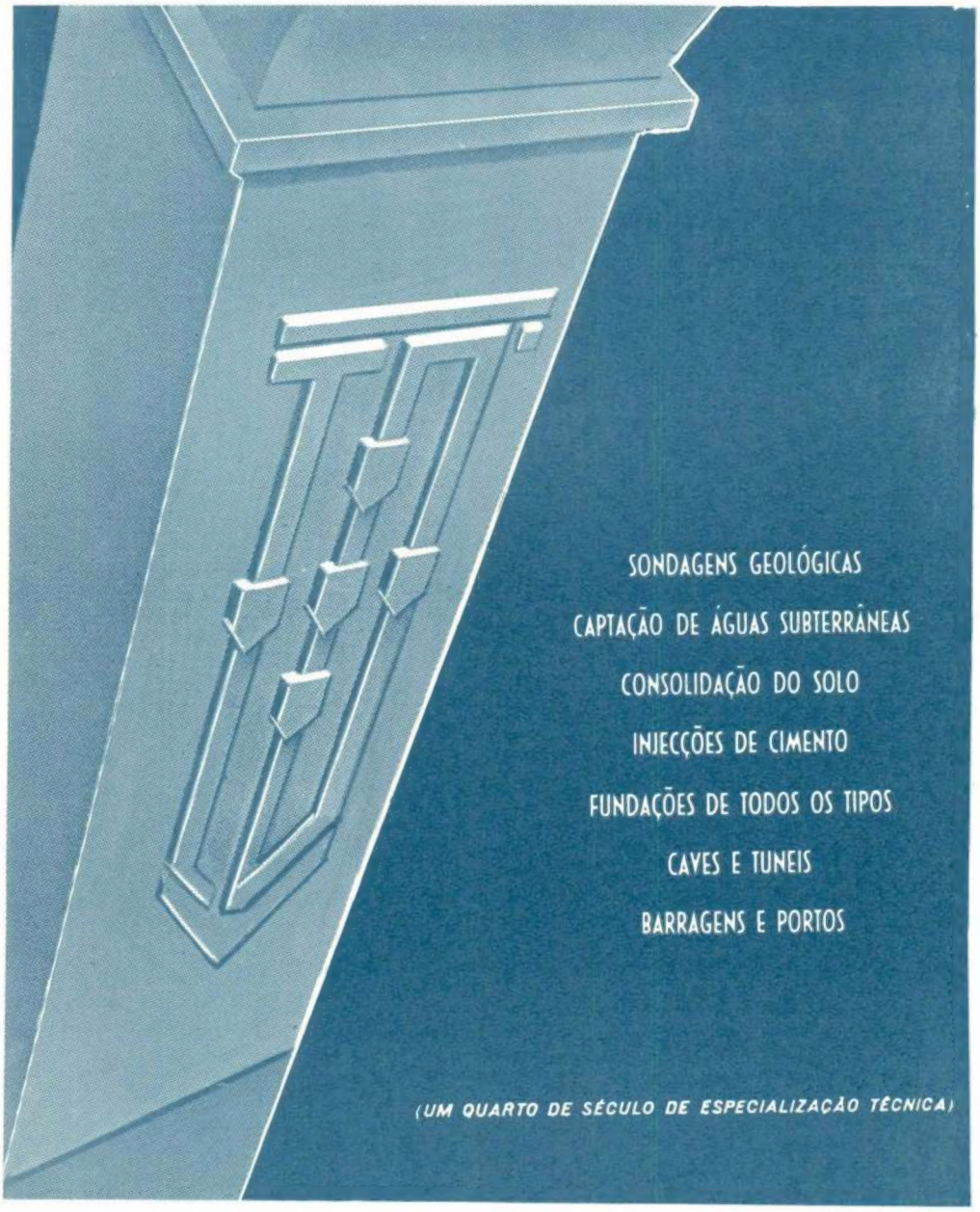
OFERTA

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

AV. DA REPÚBLICA, 42, 8.º
TELEFS. 77 70 86/7 e 77 12 65

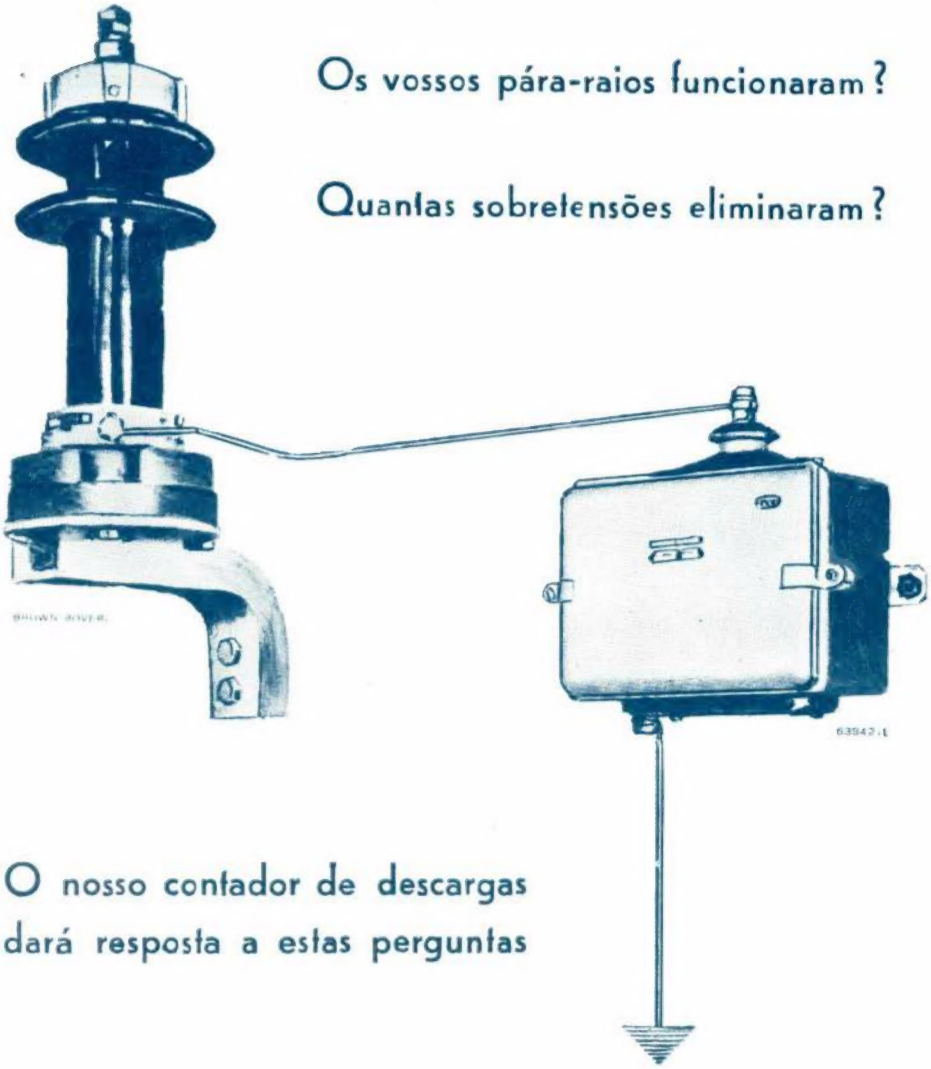
LISBOA



BROWN BOVERI

Pára-raios

Contadores de descargas



Os vossos pára-raios funcionaram?

Quantas sobretensões eliminaram?

O nosso contador de descargas dará resposta a estas perguntas

Para cada problema de protecção, os nossos Serviços Técnicos podem indicar a solução mais apropriada

SOC. DE ELECT. **BROWN BOVERI**, LDA.

RUA DE SÁ DA BANDEIRA – 481-2.º TEL. 23411-PORTO